



**Universidade de Brasília - UnB
Faculdade UnB Gama - FGA
Curso de Engenharia Automotiva**

**DESENVOLVIMENTO DE UMA BANCADA PARA
AVALIAÇÃO DE *PACKAGE* VEICULAR
INTEGRANDO REALIDADE VIRTUAL E VALIDAÇÃO
ERGONÔMICA**

**Autores: João Paulo Dias Lenhardt
Laressa Lins Cabral Araújo
Orientador: Prof. Dr. Mateus Rodrigues Miranda**

**Brasília, DF
2017**



**JOÃO PAULO DIAS LENHARDT
LARESSA LINS CABRAL ARAÚJO**

**TÍTULO: DESENVOLVIMENTO DE UMA BANCADA PARA AVALIAÇÃO DE
PACKAGE VEICULAR INTEGRANDO REALIDADE VIRTUAL E VALIDAÇÃO
ERGONÔMICA**

Monografia submetida ao curso de graduação em Engenharia Automotiva da Universidade de Brasília, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Automotiva.

Orientador: Prof. Dr. Mateus Rodrigues Miranda

**Brasília, DF
2017**

CIP – Catalogação Internacional da Publicação

Lenhardt, João Paulo Dias; Araújo, Laressa Lins Cabral

Título da Monografia: Desenvolvimento de uma bancada para avaliação de *package* veicular integrando realidade virtual e validação ergonômica / João Paulo Dias Lenhardt; Laressa Lins Cabral Araújo. Brasília: UnB, 2017. 108 p. : il. ; 29,5 cm.

Monografia (Graduação) – Universidade de Brasília
Faculdade do Gama, Brasília, 2017. Orientação: Mateus Rodrigues Miranda.

1. Palavra Chave. 2. Palavra chave. 3. Palavra chave3 I. Miranda, Mateus Rodrigues. II. Desenvolvimento de uma bancada para avaliação de *package* veicular integrando realidade virtual e validação ergonômica.

CDU Classificação



DESENVOLVIMENTO DE UMA BANCADA PARA AVALIAÇÃO DE *PACKAGE* VEICULAR INTEGRANDO REALIDADE VIRTUAL E VALIDAÇÃO ERGONÔMICA

**João Paulo Dias Lenhardt
Laressa Lins Cabral Araújo**

Monografia submetida como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Automotiva da Faculdade UnB Gama - FGA, da Universidade de Brasília, em (data da aprovação 08/12/2017) apresentada e aprovada pela banca examinadora abaixo assinada:

Prof. (PhD): Mateus Rodrigues Miranda, UnB/ FGA
Orientador

Prof. (MSc.): Eneida Gonzalez Valdes, UnB/ FGA
Membro Convidado

Prof. (MSc): Saleh Barbosa Khalil, UnB/ FGA
Membro Convidado

Brasília, DF
2017

RESUMO

Um estudo detalhado de um *cockpit* é fundamental dentro da Engenharia para concepção de projetos principalmente no que se concerne à área da Ergonomia veicular. Diversos aspectos podem ser analisados e validados através deste estudo, assim como uma avaliação de *package* e o estudo ergonômico. Para tais análises, a utilização de *softwares* de simulação pode contribuir para: reduzir os custos, diminuir o tempo de projeto, e aumentar a qualidade do produto com a possibilidade de prever falhas. Neste contexto este trabalho objetiva o desenvolvimento de uma bancada para simulação veicular física, desenvolvida em conjunto com o uso de um simulador virtual de veículos, na qual se deseja realizar uma avaliação de *package* e da Ergonomia do veículo a ser analisado e por fim a validação ergonômica com auxílio de voluntários e questionários subjetivos ao final da simulação. O carro a ser simulado é do tipo Fórmula-SAE, um veículo de competição desenvolvido pelos alunos da Universidade de Brasília. Espera-se que o desempenho da bancada de simulação veicular seja validado pelos ocupantes.

Palavras-chave: Ergonomia Veicular. *Cockpit*. Simulação Veicular. *Package* Veicular. Validação ergonômica.

ABSTRACT

A detailed study of a cockpit is fundamental within engineering for project design especially in vehicular Ergonomics. Several aspects can be analyzed and validated through this study, as well as a package evaluation and the Ergonomic study. For such analyzes, the use of simulation software can contribute to: reduce costs, reduce project time, and increase product quality with the possibility of predicting failures. In this context, this work aims at the development of a bench for vehicle simulation, developed together with the use of a virtual vehicle simulator, in which it is desired to carry out a package evaluation and the Ergonomics of the vehicle to be analyzed and, finally, the Ergonomic validation with the help of volunteers and subjective questionnaires at the end of the simulation. The car to be simulated is the Formula-SAE type, a competition vehicle developed by the students of the University of Brasilia. It is expected that the performance of the vehicle simulation bench will be validated by the occupants.

Keywords: Vehicle Ergonomics. Cockpit. Vehicle Simulation. Vehicle Package. Ergonomic Validation.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	1
1.1 OBJETIVOS	4
1.1.1 Objetivo Geral	4
1.1.2 Objetivos específicos	4
1.3 MOTIVAÇÃO	4
1.4 JUSTIFICATIVA	5
1.5 ORGANIZAÇÃO DO DOCUMENTO	5
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	7
2.1 ERGONOMIA DO PRODUTO AUTOMOTIVO	7
2.1.1 Definição de Ergonomia	7
2.1.2 Objetivos da Ergonomia	8
2.1.3 Antropometria	10
2.1.3.1 Tabelas antropométricas	11
2.1.3.2 Percentis	13
2.1.4 Design Centrado no Usuário (DCU) – <i>User Centered Design</i>	15
2.1.5 Modelagem Digital Humana (DHM) – <i>Digital Human Modeling</i>	16
2.1.6 Aplicações de DHM na indústria automotiva	18
2.2 PACKAGE AUTOMOTIVO	19
2.2.1 Package do Ocupante do veículo – <i>Vehicle Occupant Packaging (VOP)</i>	20
2.2.2 O papel do ocupante no <i>Package</i> automotivo	21
2.2.3 O processo de desenvolvimento do <i>Package</i> Automotivo	22
2.2.5 Passo 2: Desenvolvimento Virtual e Avaliação do <i>Package</i> dos ocupantes	26
2.2.7 Passo 4: Modelagem física usando <i>Mock-ups</i> e Ensaios de usuários com representantes do cliente	29
2.2.8 - Passo 5: Validação do veículo Finalizado: o <i>feedback</i> dos clientes que compram e utilizam o veículo finalizado	31
2.3 SIMULAÇÃO VEICULAR E REALIDADE VIRTUAL	31
2.3.1 A Aplicabilidade dos Simuladores	31
2.3.2 O ato de dirigir	32
2.3.3 Tipos de atenção	35
2.3.4 Uso de Simuladores nos CFCs	38
2.3.4.1 O <i>software</i>	39
2.3.5 Realidade Virtual	40
2.3.5.1 Interatividade	41
2.4 ESTADO DA ARTE	41
3 METODOLOGIA	44
3.1 METODOLOGIA	44
3.2 APARATO EXPERIMENTAL	50
3.2.1 Plataforma de Simulação Veicular	51
3.2.2 Software de simulação veicular baseado no Unity 3D®	56
3.2.2.1 Simulador	57
3.2.2.1 Cenário	58
3.2.2.2 Veículo	60
3.2.3 Lab Pro	65
3.2.4 Participação dos Voluntários	65
3.2.5 Protocolo de ensaios	65
4 RESULTADOS	67
4.1 RESULTADOS PRELIMINARES	67
4.1.1 Package da Plataforma de Simulação	67
4.1.2 Análise de Visão Interna e Externa	76
4.1.3 Análise RULA	78
4.2 ANÁLISE DOS QUESTIONÁRIOS	81

4.2.1 Análise subjetiva dos voluntários/pilotos	82
4.3 ANÁLISES DAS SIMULAÇÕES X QUESTIONÁRIOS	92
4.4 MODIFICAÇÕES	92
5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	94
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	96
Apêndice A - Instrumento de pesquisa - QUESTIONÁRIO SUBJETIVO	100
Questionário Pré-Condução	102
Questionário Pós-Condução	104
Avaliação ergonômica da bancada	104
Apêndice B - Resultados do questionário subjetivo	106
Cotas da Bancada separadamente	108

Lista de figuras

Figura 1 - Fases do desenvolvimento de um <i>cockpit</i> . (Fonte: Adaptado de Onan Demirel <i>website</i>).....	2
Figura 2 - Análises ergonômicas de um <i>cockpit</i> . (Fonte: Adaptado de Onan Demirel <i>website</i>).....	3
Figura 3 - Diversos fatores que influenciam nos sistemas produtivos (Fonte: IIDA, 2005, pg.4).	9
Figura 4 - Medidas antropométricas (Fonte: adaptado de IIDA 2005, p.117).....	12
Figura 5 - Curva de distribuição de frequência (Fonte: Adaptado de Henrys Dreyfuss Associates, 1974).....	14
Figura 6 - Variações extremas do corpo humano (Fonte: DIFFRIENT et al., 1974)..	15
Figura 7 - Dependência entre as atividades de projeto centrado no usuário. (Fonte: ABNT, 2011).....	16
Figura 8 - Exemplos de modelo humanos bidimensionais articulados, representando percentis de 50%, em escala reduzida (Fonte: FELIZBERTO E PASCHORELLI, 2000).	17
Figura 9 - Modelo bidimensional articulado, usado para testar o dimensionamento de postos de trabalho (Fonte: IIDA, 2005 p 130).....	17
Figura 10 - Dimensões e pontos de referência utilizados na otimização de <i>Package</i> (Fonte: PARKINSON, 2006).....	20
Figura 11 - Posição do H-Point. (Fonte: adaptado de MACEY & WARDLE, 2009)...	24
Figura 12 - Equipamento para definição do Ponto H. (Fonte: HERRIOTTS & JOHNSON, 2013).....	24
Figura 13 - <i>Template</i> para o H-Point (SgRP) do motorista. (Fonte: HERRIOTTS & JOHNSON, 2013).....	25
Figura 14 - Cotas e elementos de referências para um <i>cockpit</i> básico - (Fonte: SAE J941, 2002).	28
Figura 15 - Desenvolvimento da Range Rover Evoque na CAVE JLR na Unidade em Gaydon: visão exterior otimizada. (Fonte: HERRIOTTS & JOHNSON, 2013).	29
Figura 16 - Voluntário alto em um <i>mock-up</i> para definir o ingresso/egresso de uma Range Rover. (Fonte: HERRIOTTS & JOHNSON, 2013).....	30

Figura 17 - Voluntária de baixa estatura avaliando a posição de direção e alcance dos instrumentos em um <i>mock-up</i> estático físico. (Fonte: HERRIOTTS & JOHNSON, 2013).	30
Figura 18 - Participante durante condução no simulador (Fonte: DREWS et al., 2008).	32
Figura 19 - Aluna no simulador de autoescola. (Fonte: Jornal A Cidade, website). ..	39
Figura 20 - (a) foto do simulador montado para os ensaios experimentais de simulação de direção (b) posicionamento comparativo do simulador com relação ao Honda CR-V – vista isométrica (Fonte: MIRANDA, 2014).	42
Figura 21 - a) Linha reta <i>Main hoop</i> e a cabeça do piloto, b) a cabeça do piloto à linha do <i>Main Hoop</i> com o suporte traseiro, c) a cabeça do piloto não pode ultrapassar a linha mais externa no <i>Main Hoop</i> (Fonte: Adaptado Formula SAE rules).	45
Figura 22 - Vista lateral esquerda da bancada (Fonte: Autores, 2017).	46
Figura 23 - Vista superior da bancada (Fonte: Autores, 2017).	46
Figura 24 - Vista frontal da bancada (Fonte: Autores, 2017).	47
Figura 25 - Vista lateral esquerda da bancada (Fonte: Autores, 2017).	47
Figura 26 - Vista superior da bancada (Fonte: Autores, 2017).	47
Figura 27 - Vista frontal da bancada (Fonte: Autores, 2017).	48
Figura 28 - Vista isométrica da bancada (Fonte: Autores, 2017).	48
Figura 29 - Cotas da bancada, vista frontal ou elevação da bancada (plano 1), (Fonte: Autores, 2017).	48
Figura 30 - Cotas da bancada, vista superior ou plana (plano 2), (Fonte: Autores, 2017).	49
Figura 31 - Cotas da bancada, Vista lateral esquerda ou perfil (plano 3), (Fonte: Autores, 2017).	49
Figura 32 - Fluxograma da metodologia para a simulação inicial no Catia dos manequins(fonte: Autores, 2017).	50
Figura 33 - Fluxograma da metodologia para o aparato experimental (fonte: Autores, 2017).	51
Figura 34 - Vista lateral esquerda da bancada simulada (Fonte: Autores, 2017).	53
Figura 35 - Vista superior da bancada simulada (Fonte: Autores, 2017).	53
Figura 36 - Vista frontal da bancada simulada (Fonte: Autores, 2017).	53

Figura 37 - Foto do simulador montado para os ensaios experimentais (Fonte: Autores, 2017).....	54
Figura 38 - Vista lateral da modelagem da bancada (Fonte: Autores, 2017).	54
Figura 39 - Vista superior da modelagem da bancada (Fonte: Autores, 2017).	54
Figura 40 – Vista frontal da modelagem da bancada (Fonte: Autores, 2017).	55
Figura 41 - Vista isométrica da modelagem da bancada (Fonte: Autores, 2017).....	55
Figura 42 - Cotas da bancada finalizada, vista frontal (Fonte: Autores, 2017).	55
Figura 43 - Cotas da bancada finalizada, vista superior (Fonte: Autores, 2017).	56
Figura 44 - Cotas da bancada finalizada, vista lateral (Fonte: Autores, 2017).	56
Figura 45 - Fluxograma para criação do simulador (Fonte: Autores, 2017).	58
Figura 46 - Vista geral do traçado usada para a criação do cenário. (Fonte: Bing Maps, 2017).....	59
Figura 47 – Vista superior do traçado da pista no <i>Unity 3D</i>	59
Figura 48 - Fórmula FGR E02 modelo 2017	60
Figura 49 - Imagem da câmera principal do software de simulação com o cockpit do Fórmula FGR E02 (Fonte: Autores).	61
Figura 50 – <i>Script CarDynamics</i> (Fonte: Autores, 2017).....	62
Figura 51- Ajuste do motor (Fonte: Autores, 2017).	63
Figura 52- Ajuste de transmissão (Fonte: Autores, 2017).	63
Figura 53- Ajuste de suspensão e pneus (Fonte: Autores, 2017).	64
Figura 54- Ajuste de freios (Fonte: Autores, 2017).....	64
Figura 55 – Ajustes gerais de carroceria (Fonte: Autores, 2017).	65
Figura 56 - Ajustes Aerodinâmicos (Fonte: Autores, 2017).....	65
Figura 57 - Posicionamento P95%- comparativo do simulador (em preto) com relação ao Fórmula (em cinza). (Fonte: Autores, 2017).	68
Figura 58 - Posicionamento P5%- comparativo do simulador (em preto) com relação ao Fórmula (em cinza). (Fonte: Autores, 2017).	68
Figura 59 - Posicionamento P50%- comparativo do simulador (em preto) com relação ao Fórmula (em cinza). (Fonte: Autores, 2017).	69
Figura 60 - <i>Package</i> posicionamento do assento para o percentil 95% Masculino (Fonte: Autores, 2017).	69
Figura 61 - <i>Package</i> posicionamento do volante para o percentil 95% Masculino (Fonte: Autores, 2017).	70

Figura 62 - <i>Package</i> posicionamento do acelerador para o percentil 95% Masculino (Fonte: Autores, 2017).	70
Figura 63 - <i>Package</i> do posicionamento do apoio de pé/embreagem para o percentil 95% masculino americano (Fonte: autores, 2017).	71
Figura 64 - <i>Package</i> do posicionamento do assento para o percentil 5% Feminino (Fonte: Autores, 2017).	71
Figura 65 - <i>Package</i> do posicionamento do volante para o percentil 5% Feminino (Fonte: Autores, 2017).	72
Figura 66 - <i>Package</i> do posicionamento do pedal do acelerador para o percentil 5% Feminino (Fonte: Autores, 2017).	72
Figura 67 - <i>Package</i> do posicionamento do apoio de pé/embreagem para o percentil 5% Feminino (Fonte: Autores, 2017).	73
Figura 68 - <i>Package</i> do posicionamento do assento para o percentil 50% Masculino (Fonte: Autores, 2017).	73
Figura 69 - <i>Package</i> do posicionamento do volante para o percentil 50% Masculino (Fonte: Autores, 2017).	74
Figura 70 - <i>Package</i> posicionamento do acelerador para o percentil 50% Masculino (Fonte: Autores, 2017).	74
Figura 71 - <i>Package</i> posicionamento do pé/embreagem para o percentil 50% Masculino (Fonte: Autores, 2017).	75
Figura 72 - Visão do ponto de vista manequim Masculino Percentil 95%, que está dentro da bancada que está dentro do veículo como forma de comparação (Fonte: Autores, 2017).	76
Figura 73 - Visão do ponto de vista manequim Feminino Percentil 5%, que está dentro da bancada que está dentro do veículo como forma de comparação (Fonte: Autores, 2017).	77
Figura 74 - Visão do ponto de vista manequim Masculino Percentil 50%, que está dentro da bancada que está dentro do veículo como forma de comparação (Fonte: Autores, 2017).	77
Figura 75 – Comparação entre as visões do piloto no jogo e a visão do manequim que está dentro da bancada que está dentro do veículo no ambiente do CATIA® V5R19 (Fonte: Autores, 2017).	78
Figura 76 - Parâmetros do RULA no CATIA® (Manual DDS CATIA® V5R19, 2013).	78

Figura 77 - Quadro de pontuação do RULA do CATIA® (Manual DDS CATIA® V5R19, 2013).	79
Figura 78 - Pontuação fornecida pelo RULA do CATIA® (Manual DDS CATIA® V5R19, 2013).	79
Figura 79 - Análise RULA para o manequim percentil 95% Masculino (Fonte: Autores, 2017).	80
Figura 80 - Análise RULA para o manequim percentil 5% Feminino (Fonte: Autores, 2017).	80
Figura 81 - Análise RULA para o manequim percentil 50% Masculino (Fonte: Autores, 2017).	81
Figura 82 – Cotas antropométricas (CATIA) (Fonte: Autores, 2017).	82
Figura 83 - Gráfico com a relação de número de pessoas por suas respectivas alturas (Fonte: Autores, 2017).	82
Figura 84 - Voluntário 3 - Percentil 34% (Fonte: Autores, 2017).	84
Figura 85 - Manequim do voluntário 3 - Percentil 34% (Fonte: Autores, 2017).	85
Figura 86 - Análise RULA do voluntário 3 - Percentil 34% (Fonte: Autores, 2017).	85
Figura 87 - Voluntário 4 - Percentil 99% (Fonte: Autores, 2017).	86
Figura 88 - Manequim do voluntário 4 - Percentil 99% (Fonte: Autores, 2017).	86
Figura 89 - Análise RULA do voluntário 4 - Percentil 99% (Fonte: Autores, 2017).	86
Figura 90 - Voluntário 10 - Percentil 78% (Fonte: Autores, 2017).	87
Figura 91 - Manequim do voluntário 10 - Percentil 78% (Fonte: Autores, 2017).	87
Figura 92 - Análise RULA do voluntário 10 - Percentil 78% (Fonte: Autores, 2017).	88
Figura 93 - Voluntário 7 - Percentil 40% (Fonte: Autores, 2017).	88
Figura 94 - Manequim da voluntária 7 - Percentil 40% (Fonte: Autores, 2017).	89
Figura 95 - Análise RULA da voluntária 7 - Percentil 40% (Fonte: Autores, 2017).	89
Figura 96- Voluntária 9 - Percentil 5% (Fonte: Autores, 2017).	90
Figura 97 - Manequim da voluntária 9 - Percentil 5% (Fonte: Autores, 2017).	90
Figura 98- Análise RULA da voluntária 9 - Percentil (Fonte: Autores, 2017).	90
Figura 99 - Voluntário 5 – Percentil 20% (Fonte: Autores, 2017).	91
Figura 100 - Manequim do voluntário 5 - Percentil 20% (Fonte: Autores, 2017).	91
Figura 101 - Análise RULA voluntário 5 - Percentil 20% (Fonte: Autores, 2017).	91

Lista de tabelas

Tabela 1 - Tabela antropométrica da Henrys Dreyfuss Associates (Fonte: TILLEY, 2005).	11
Tabela 2 - Respectivos valores das variáveis apresentadas (Fonte: adaptado da norma alemã DIN 33402 de 1981).	13
Tabela 3 - Principais tarefas envolvidas no desempenho dos motoristas (Fonte: adaptado de HAKAMIES-BLOMQVIST, 1996).	34
Tabela 4 - Desvio de Atenção. (Fonte: Volkswagen <i>apud</i> site DETRAN/MT Departamento Estadual de Trânsito de Mato Grosso).	37
Tabela 5 - Especificações Técnicas do Fórmula FGR E02 modelo 2017.	60
Tabela 6 - Dados Antropométricos. (Fonte: CATIA® V5 R19).	68
Tabela 7 - Cotação para os <i>Packages</i> de acordo com a norma SAEJ1100 (Fonte: Autores, 2017).	75
Tabela 8 - Tempo de cada volta (Fonte: Autores, 2017).	83
Tabela 9 - Dados antropométricos dos voluntários (Fonte: Autores, 2017).	83
Tabela 10 - Pilotos/voluntários com sexo, altura, piloto ou voluntário, saiu da pista, capotou, percentis e tempo das voltas (Fonte: Autores, 2017).	83
Tabela 11- Respostas dos voluntários quanto aos alcances e alturas do banco, volante e pedais (Fonte: Autores, 2017).	84

1 INTRODUÇÃO

Um veículo é um conjunto de sistemas altamente complexo em que o motorista, no momento de dirigir, mantém constante interação entre os diversos comandos deste conjunto. Tais comandos interferem diretamente na forma de conduzir do usuário, em que cada um tem sua funcionalidade específica; em algumas situações, são acionados mais de um comando num mesmo momento. Para isso, deve haver um bom entendimento relacionado à natureza da ação de dirigir e os elementos envolvidos, já na concepção do projeto dos veículos (MEDEIROS, 2004). Tais elementos podem ser avaliados usando os conhecimentos da Ergonomia, em especial a Ergonomia do Produto.

Existem diversas definições de Ergonomia. Todas procuram ressaltar o caráter interdisciplinar e o objeto de seu estudo, que é a interação entre o homem e o trabalho, no sistema homem-máquina-ambiente (IIDA, 2005).

Na indústria automotiva a Ergonomia está voltada a tornar o veículo mais seguro e confortável, considerando as interfaces com o condutor e o ambiente. Nesse contexto, a Ergonomia é primordial, pois é a partir dela que se determinará a melhor forma de adequar o sistema para uso humano (TANABE, 2014). Isto é, o estudo ergonômico aplicado ao setor automotivo, mais precisamente no interior de um veículo, por exemplo, pode ser observado através da interação do motorista com os recursos disponíveis em seu automóvel como: volante, pedais, câmbio, comandos eletrônicos, painel voltado para o motorista, entre outros.

Sabe-se que o ramo da indústria automotiva interfere em grande parte na economia mundial, além de ser considerada uma das maiores atividades industriais da atualidade. É um setor que está em constante desenvolvimento por buscar novas tecnologias para atrair os consumidores. Como forma de incentivar e fortalecer os estudos em desenvolvimento de automóveis, a Sociedade de Engenheiros da Mobilidade (SAE) criou a competição do Projeto Formula SAE Brasil, que consiste em estudantes de graduação e pós-graduação em Engenharia construírem carros do tipo Fórmula para competir obedecendo às normas pré-estabelecidas no regulamento da competição, que é considerado um dos maiores programas para

capacitar futuros profissionais para a indústria automobilística. A competição envolve diversas provas, dentre elas, são avaliadas as condições ergonômicas do veículo.

Quando se trata de veículos para competição, os aspectos ergonômicos são ainda mais evidentes, pois qualquer aspecto abaixo do ideal ou do ótimo pode prejudicar o desempenho. Nesse sentido, além das melhorias técnicas no veículo, como sistemas de direção, frenagem ou suspensão mais eficientes, também é necessário aperfeiçoar o desempenho ou a interação do humano com o sistema.

Como aspecto motivador do presente trabalho, o desenvolvimento de um *cockpit* por meio de análises ergonômicas e suas várias etapas de projeto pode ser evidenciado nas Figuras (1) e (2), mostrando sua importância na Engenharia Automotiva na concepção de um veículo do tipo Fórmula.

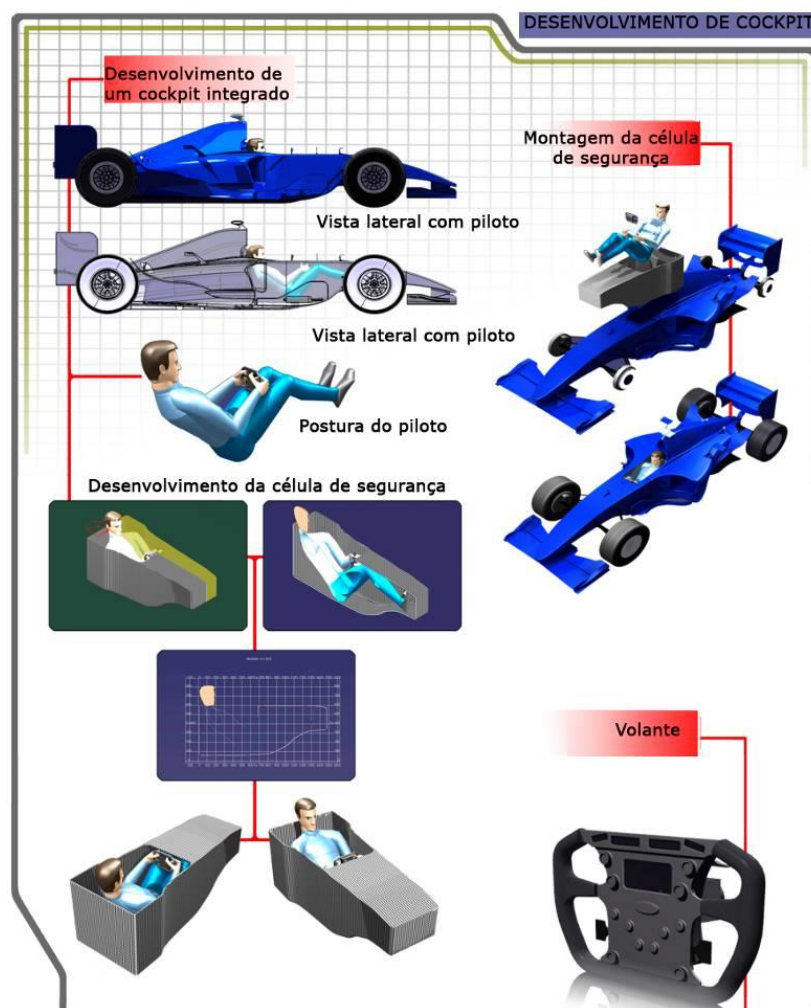


Figura 1 - Fases do desenvolvimento de um *cockpit*. (Fonte: Adaptado de Onan Demirel website).

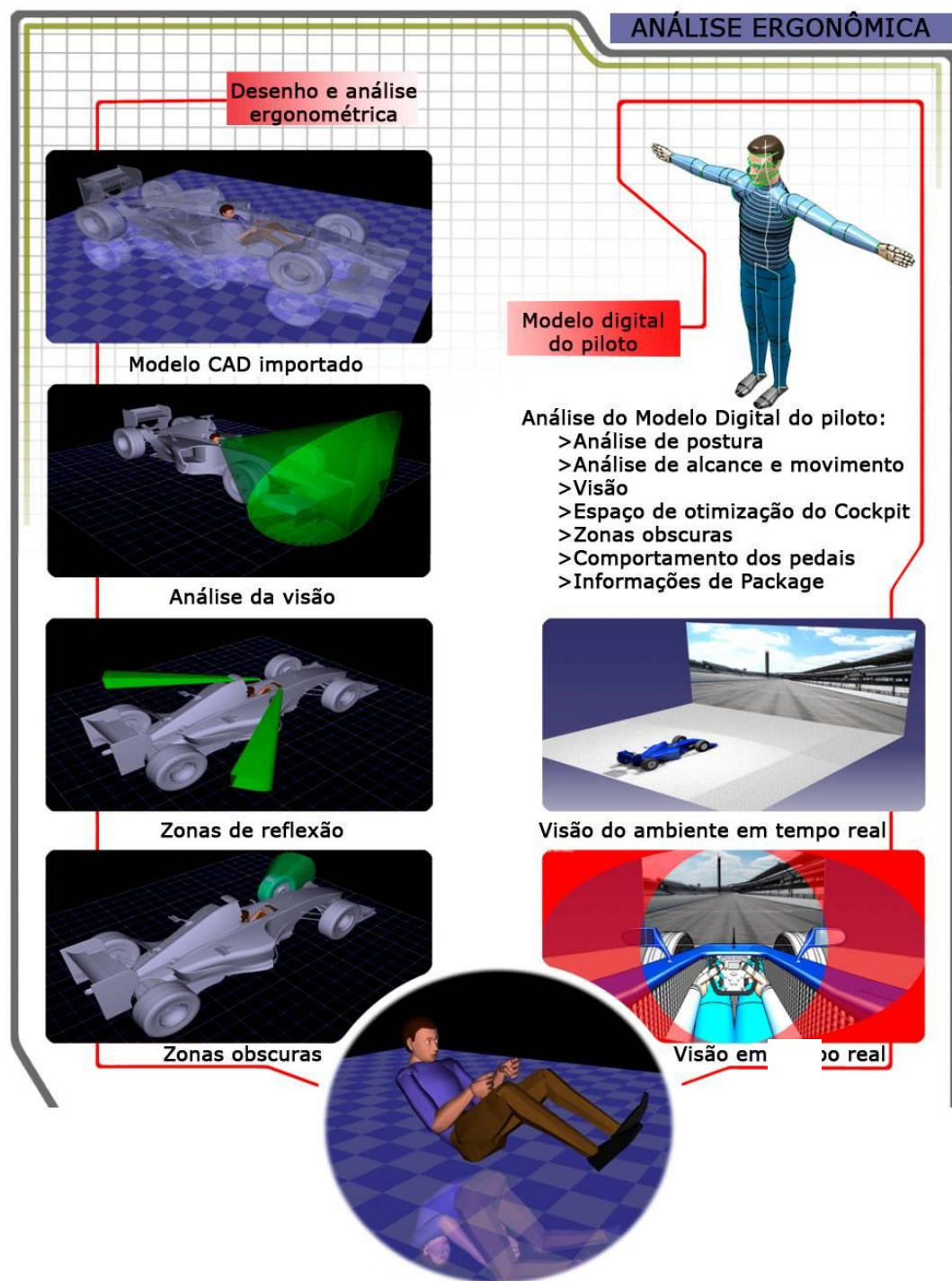


Figura 2 - Análises ergonômicas de um *cockpit*. (Fonte: Adaptado de Onan Demirel website)

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Complementação do desenvolvimento e validação de uma bancada para simulação veicular integrando realidade virtual e validação ergonômica, construída para avaliar o interior de um veículo do tipo Fórmula – SAE, projetado pelos alunos da Universidade de Brasília, que será integrada com um *software* de simulação de veículos utilizando a plataforma do *Unity 3D*®. O objetivo desta bancada é avaliar o *Package* e a usabilidade do veículo através de uma validação ergonômica com o auxílio de voluntários, inclusive dos pilotos da equipe, que irão responder a um questionário de validação analítico-subjetivo antes e depois da simulação.

1.1.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos do trabalho serão descritos abaixo em forma de itens:

- Ajustar a bancada previamente no *software* CATIA® para posteriormente realizar as análises ergonômicas;
- Acomodar os ocupantes a serem avaliados (manequins: 5% feminino japonês, 50% masculino francês e 95% masculino americano);
- Criar os *Packages* e análises ergonômicas dos ocupantes.
- Reajustar a bancada física para regulagem dos componentes como volante, pedais etc.
- Incorporar a pista e o veículo no *software* de simulação.
- Realizar a simulação com voluntários e aplicar questionário subjetivos.
- Validar a Ergonomia e usabilidade da bancada;

1.3 MOTIVAÇÃO

O uso de *softwares* avançados para a área de simulação veicular está bastante difundido nas grandes empresas automobilísticas com o desenvolvimento de novas tecnologias e interfaces usuário-máquina, isso dá mais inovação e

competitividade à empresa que faz o uso dessas tecnologias, que sem dúvida impactam de maneira positiva o cliente.

A utilização de programas de simulação pode contribuir para: reduzir os custos, diminuir o tempo de projeto, e aumentar a qualidade do produto com a possibilidade de prever falhas. Os benefícios do uso desses *softwares* de simulação podem ser comprovados no que se refere à redução de custos, diminuição de tempo de projeto e quanto ao aumento da qualidade de um produto com a possibilidade de prever falhas.

Tendo em vista que a equipe de competição de Fórmula SAE da Universidade de Brasília, chamada de Fórmula Gama Racing (FGR) ainda não possui um estudo detalhado na área ergonômica, com uso de uma bancada para simulação e sequer a simulação da corrida no próprio local da competição, que será no Esporte Clube Piracicabano de Automobilismo (ECPA) – em Piracicaba-SP. Esse trabalho, portanto, visa colaborar com a equipe FGR.

1.4 JUSTIFICATIVA

O homem moderno passa muito tempo dentro de veículos no ir e vir de suas atividades. Um automóvel ergonomicamente adaptado permite aos seus usuários mais qualidade de vida, conforto e bem estar, menores índices de acidentes, fadigas, lesões estresse e outros, beneficiando a grande variabilidade do ser humano dado que o projeto em si se adapta a vários percentis.

Este trabalho se consolida nas normas e diretrizes mundiais da SAE (Sociedade de Engenheiros da Mobilidade), em projetos relacionados ao estudo do *cockpit* do Fórmula SAE da Universidade de Brasília e pelos estudos do doutorado do Prof. Miranda, (2014).

1.5 ORGANIZAÇÃO DO DOCUMENTO

Este trabalho está estruturado em mais cinco capítulos, além dessa Introdução.

No capítulo 2 é tratada a literatura abordando as definições e pressupostos teóricos e práticos necessários à compreensão da questão, que são: Ergonomia do Produto; *Package* Automotivo; Simulação Veicular e Realidade Virtual.

No capítulo 3 é abordada a descrição do simulador, os métodos de pesquisa que serão utilizados no trabalho, com o detalhamento do aparato experimental que será usado na pesquisa.

No capítulo 4 inicia-se com os resultados das análises de *Package* do veículo e também análises ergonômicas dos ocupantes de diferentes percentis, e depois será apresentado o resultado das simulações, dos questionários e por fim a validação ergonômica da bancada.

No capítulo 5, serão mostradas as conclusões e as recomendações para a continuidade do trabalho nesta área de estudo.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 ERGONOMIA DO PRODUTO AUTOMOTIVO

O conceito básico de Ergonomia surgiu nos meados do século XIX, envolvia todo o tipo de melhoramento e aperfeiçoamento de materiais e ferramentas que o homem possuía, desde os tempos mais remotos (civilizações antigas). É um ramo científico que engloba três áreas básicas e diferentes entre si, Psicologia que considera aspectos psíquicos e cognitivos, Fisiologia que contém os princípios da física e os processos de produção e materiais. Ao longo do tempo outras ciências foram adicionadas como: Inteligência Artificial, Sociologia, Antropologia e a Realidade Virtual (MIRANDA, 2014).

Há uma variedade muito grande nas pessoas considerando seus aspectos físicos seja tamanho, peso e estatura. É compreensível a razão porque das grandes empresas e fabricantes de transportes marítimos, terrestres e aéreos se preocuparem cada vez mais com as condições de conforto ambiental que seus produtos oferecem a seus usuários (PEREIRA E ALCOBIA, 2006).

Com os avanços tecnológicos e financeiros, o carro se tornou um meio de transporte bastante comum, sendo adquirido por quase todas as classes sociais, sendo cada vez maior o número de veículos nas ruas seja de pequenas ou grandes cidades, deixando o tráfego terrestre das metrópoles lento, muitas vezes com engarrafamentos longos e demorados principalmente nos horários de pico, pensando na qualidade de vida de motoristas e passageiros no ambiente veicular, a Ergonomia automotiva visa minimizar os custos de fadiga, lesões, estresse, acidentes e mortes no trânsito, de acordo com (MIRANDA, 2014) e o trabalho de (PEREIRA E ALCOIBA, 2006).

2.1.1 Definição de Ergonomia

“A palavra Ergonomia deriva das palavras gregas *ergon* (trabalho) e *nomos* (leis)” (PEREIRA E ALCOBIA, 2006). Este termo Ergonomia surge pela primeira vez em meados de 1857 com Wojciech Jastrzebowski que intitula uma das suas obras “Ensaio de Ergonomia ou ciência do trabalho, baseada nas leis objetivas da ciência

da natureza”. A ergonomia foi definida como sendo uma a ciência da utilização das forças e das capacidades humanas. Murrel, um engenheiro da década de 50 do século XX, aperfeiçoa este termo tornando-a uma disciplina científica através da criação *Ergonomic Research Society*, contendo vários especialistas nas áreas de fisiologia, psicologia e engenheiros interessados na adaptação do trabalho do homem (PEREIRA E ALCOBIA, 2006).

A Ergonomia através das ciências: Fisiologia, Neurofisiologia, Psicopatologia, Biomecânica, Anatomia, Psicologia, Psicopatologia e Antropometria buscam explicar com bases racionais e empíricas teoricamente a adaptação do homem aos bens de consumo e de capital, métodos de trabalho e controles de produção. A Ergonomia visa resolver problemas e custos humanos que o operador tem no trabalho como lesões, fadigas e até mortes, acidentes e incidentes e erros constantes e excessivos evitando assim gastos desnecessários e baixo desempenho nos processos de produção (MIRANDA, 2014).

De acordo com (WISNER, 1981) a Ergonomia tem como base o conhecimento do homem nas ciências Antropométricas, Fisiológicas e uma pequena parte na área de Sociologia possuindo também uma arte do engenheiro de acordo com que o desenvolvimento e os resultados que se traduzem em dispositivos técnicos, hoje em dia, muitas das atividades humanas possuem componentes cognitivos intensos e complexos. O homem como o centro do sistema poderá operar eficientemente, confortavelmente e com segurança.

Compreende-se que a Ergonomia se preocupa como o homem se comporta e realiza seu trabalho qualquer que seja a situação, não deixando de lado a sua conservação da saúde, melhoramento e concepção satisfatória do sistema como um todo.

2.1.2 Objetivos da Ergonomia

O estudo da Ergonomia e seus fatores que desempenham e influenciam em sistemas produtivos procura reduzir as consequências que podem ou não ser nocivas ao trabalhador. Proporcionando segurança, satisfação e saúde aos trabalhadores nos sistemas produtivos (ver Figura (3)).

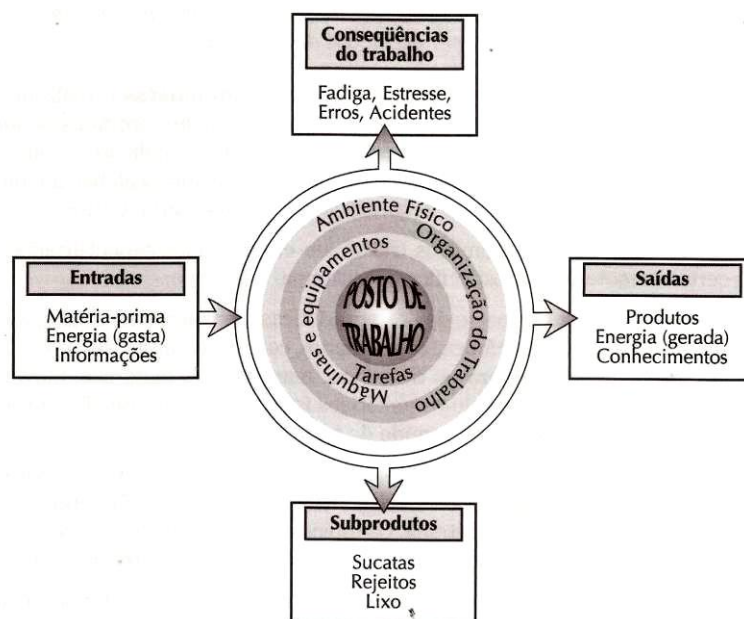


Figura 3 - Diversos fatores que influenciam nos sistemas produtivos (Fonte: IIDA, 2005, pg.4).

Em um sistema ergonomicamente correto, a eficiência vem a ser consequência. Colocar a eficiência em primeiro plano seria justificar medidas que levem ao aumento dos riscos, além de sofrimento e sacrifícios dos trabalhadores, o que é totalmente inaceitável, já que a Ergonomia visa em primeiro lugar à saúde, segurança e satisfação do trabalhador.

Quatro termos podem ser destacados a saúde do trabalhador que se mantêm quando suas exigências no ambiente de trabalho não ultrapassam seus limites tanto energéticos como cognitivos, visando assim evitar situações de perigos, estresse e doenças ocupacionais. A segurança é maior com projetos bem elaborados dos postos de trabalho com ambientes e organização, dentro das capacidades do trabalhador diminuindo riscos e acidentes. A satisfação é um resultado das necessidades e expectativas do trabalhador considerando as diferenças culturais e individuais, um resultado pode ser satisfatório para alguns, mas não necessariamente para outros, contudo um trabalhador tende a ser mais eficiente, possuir um comportamento mais seguro e produtivo quando se encontra satisfeito (IIDA, 2005).

A satisfação é uma consequência da satisfação, planejamento e organização, proporcionando assim segurança, saúde e satisfação sempre dentro dos limites do

trabalhador, aumentar a eficiência pode implicar em prejuízos em todos os termos já citados.

O objetivo da Ergonomia é adaptar o trabalho à variabilidade do homem e do processo (IIDA, 2005).

O conceito e o objetivo apresentados resultam das transformações que aconteceram ao longo da história da Ergonomia.

2.1.3 Antropometria

O estudo da palavra Antropometria vem do grego, em que *anthropos* significa homem e *metron*, medida. Dessa forma, pode-se dizer que a Antropometria é o estudo que avalia e mensura as medidas físicas do corpo humano como um todo ou de suas partes como, por exemplo, altura, peso, medida de mãos e seus dedos, braços, coxas, quadril, ombros etc. (IIDA, 2005).

Cada país possui uma população de diferentes tipos físicos, em suas medidas corporais. Essas características são denominadas medidas antropométricas, permitindo assim adequar e verificar os produtos, máquinas, instrumentos e postos de trabalho ao usuário. A qualidade destes necessariamente deve passar pela adequação antropométrica.

O Brasil ainda possui um déficit nos seus dados antropométricos de sua população, alguns estudos já foram realizados nessa área, porém esses estudos não alcançaram o número necessário de indivíduos na sociedade brasileira para se atingir dados razoáveis (MIRANDA, 2014).

O ergonomista, juntamente com engenheiros, arquitetos, desenhistas industriais, analistas e programadores de sistema, organizadores do trabalho, propõem mudanças e inovações, partindo de variáveis fisiológicas, psicológicas e cognitivas humanas segundo critérios que privilegiam o ser humano, principalmente em suas adequações antropométricas.

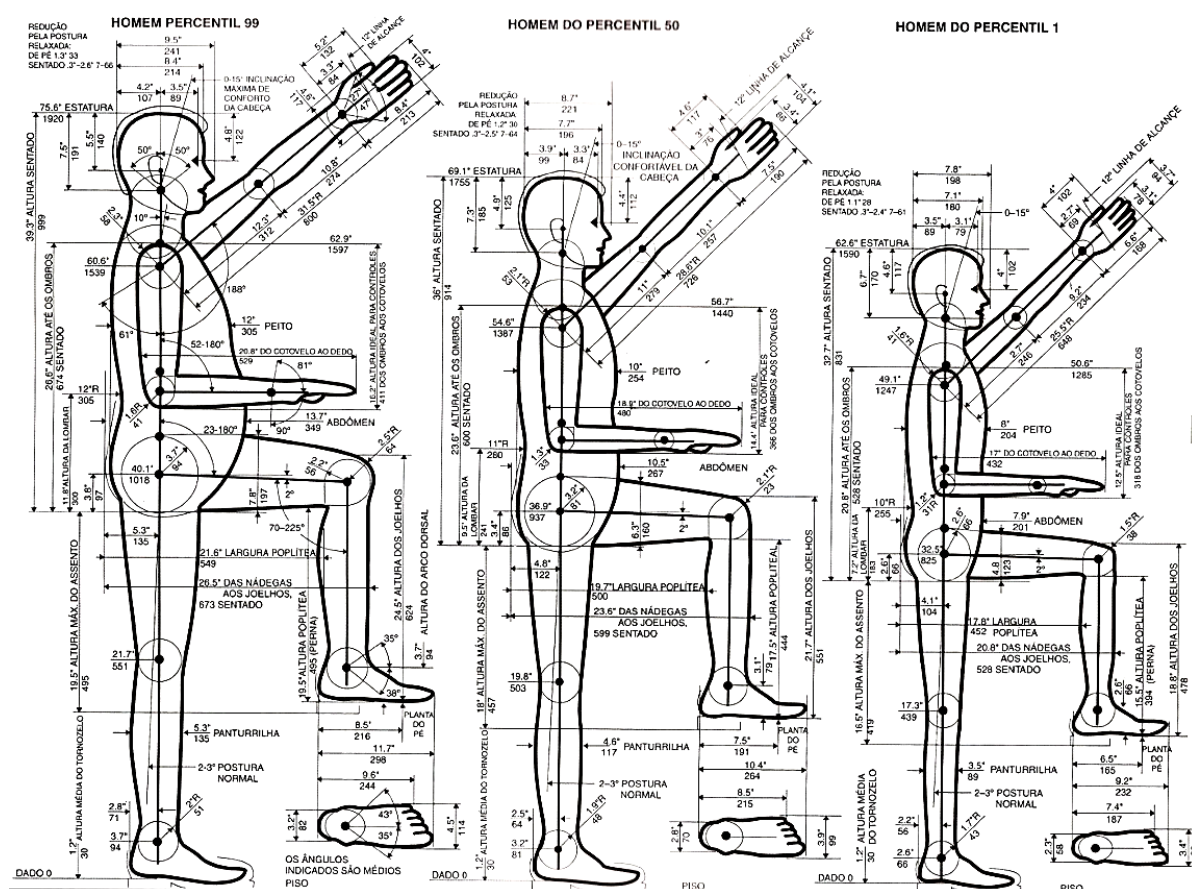
2.1.3.1 Tabelas antropométricas

Com o corpo parado ou com pouco movimento é realizado medidas, denominada antropometria estática. Já são utilizadas há muito tempo pelas as forças armadas, a partir da década de 1950 adquiriu um significado mais econômico. Um produto melhor adaptado ao corpo humano apresenta menores acidentes e mais conforto.

Hoje em dia são disponíveis medidas antropométricas, americana, europeia e asiática devido à emergência econômica dessa região. (IIDA, 2005)

Cada tabela apresenta variáveis do corpo humano em pé 9 medidas, 13 sentado, 22 da mão, 3 dos pés, e 7 da cabeça. São as principais variáveis usadas em medidas de antropometria do corpo humano. Ver tabela (1).

Tabela 1 - Tabela antropométrica da Henrys Dreyfuss Associates (Fonte: TILLEY, 2005).



Principais variáveis nas posições em pé sentada, incluindo também partes do corpo humano cabeça, mãos e pé. Ver Figura (4) e Tabela (2).

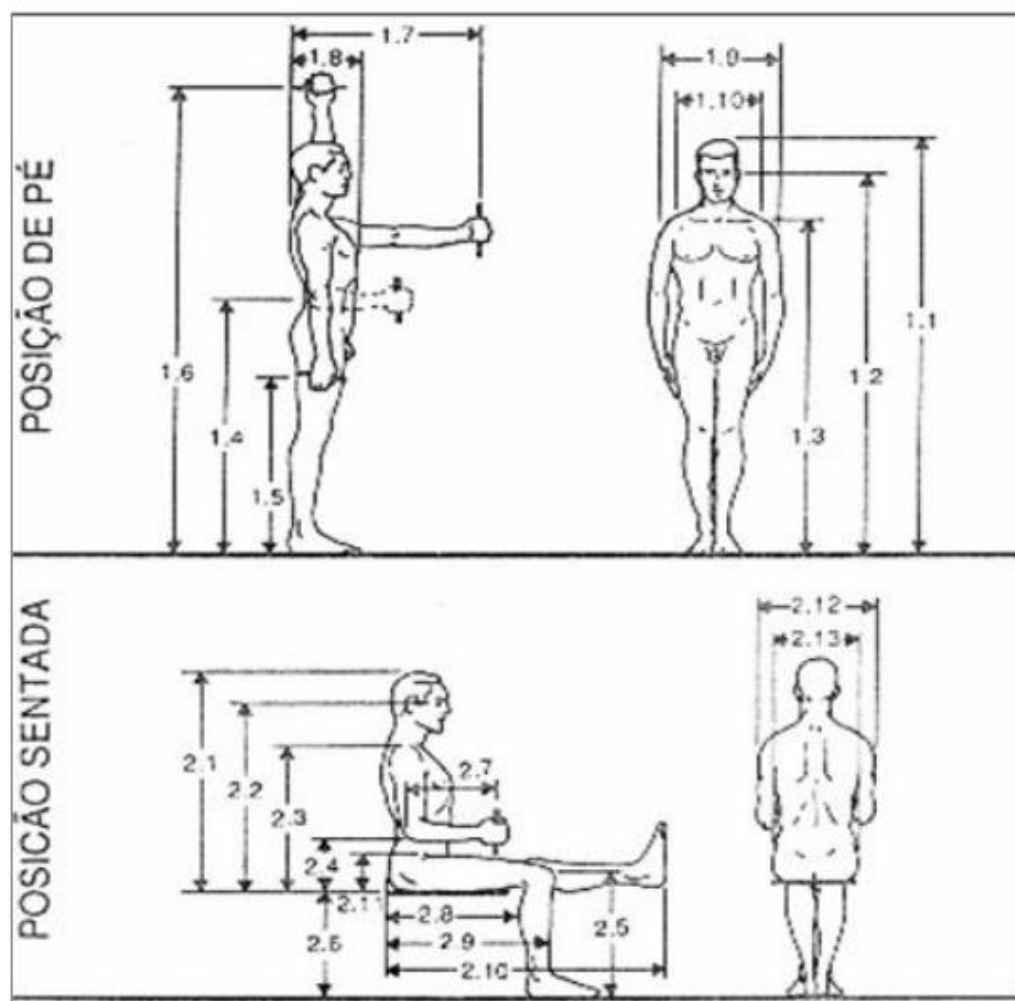


Figura 4 - Medidas antropométricas (Fonte: adaptado de IIDA 2005, p.117).

Tabela 2 - Respective valores das variáveis apresentadas (Fonte: adaptado da norma alemã DIN 33402 de 1981).

1 CORPO EM PÉ	1.1 Estatura, corpo ereto	151,0	161,9	172,5	162,9	173,3	184,1
	1.2 Altura dos olhos, em pé, ereto	140,2	150,2	159,6	150,9	161,3	172,1
	1.3 Altura dos ombros, em pé, ereto	123,4	133,9	143,6	134,9	144,5	154,2
	1.4 Altura do cotovelo, em pé, ereto	95,7	103,0	110,0	102,1	109,6	117,9
	1.5 Altura do centro da mão, braço pendido, em pé	66,4	73,8	80,3	72,8	76,7	82,8
	1.6 Altura do centro da mão, braço erguido, em pé	174,8	187,0	200,0	191,0	205,1	221,0
	1.7 Comprimento do braço, na horizontal, até o centro da mão	61,6	69,0	76,2	66,2	72,2	78,7
	1.8 Profundidade do corpo, na altura do tórax	23,8	28,5	35,7	23,3	27,6	31,8
	1.9 Largura dos ombros, em pé	32,3	35,5	38,8	36,7	39,8	42,8
	1.10 Largura dos quadris, em pé	31,4	35,8	40,5	31,0	34,4	36,8
2 CORPO SENTADO	2.1 Altura da cabeça, a partir do assento, tronco ereto.	80,5	85,7	91,4	84,9	90,7	96,2
	2.2 Altura dos olhos, a partir do assento, tronco ereto	68,0	73,5	78,5	73,9	79,0	84,4
	2.3 Altura dos ombros, a partir do assento, tronco ereto	53,8	58,5	63,1	56,1	61,0	65,5
	2.4 Altura do cotovelo, a partir do assento, tronco ereto	19,1	23,3	27,8	19,3	23,0	28,0
	2.5 Altura do joelho, sentado	46,2	50,2	54,2	49,3	53,5	57,4
	2.6 Altura poplitea (parte inferior da coxa)	35,1	39,5	43,4	39,9	44,2	48,0
	2.7 Comprimento do antebraço, na horizontal, até o centro da mão	29,2	32,2	36,4	32,7	36,2	38,9
	2.8 Comprimento nádega-poplitea	42,6	48,4	53,2	45,2	50,0	55,2
	2.9 Comprimento da nádega-joeiro	53,0	58,7	63,1	55,4	59,9	64,5
	2.10 Comprimento nádega-pé, perna estendida na horizontal	95,5	104,4	112,6	96,4	103,5	112,5
	2.11 Altura da parte superior das coxas	11,8	14,4	17,3	11,7	13,6	15,7
	2.12 Largura entre os cotovelos	37,0	45,6	54,4	39,9	45,1	51,2
	2.13 Largura dos quadris, sentado	34,0	38,7	45,1	32,5	36,2	39,1
3 CABEÇA	3.1 Comprimento vertical da cabeça	19,5	21,9	24,0	21,3	22,8	24,4
	3.2 Largura da cabeça, de frente	13,8	14,9	15,9	14,6	15,6	16,7
	3.3 Largura da cabeça, de perfil	16,5	18,0	19,4	18,2	19,3	20,5
	3.4 Distância entre os olhos	5,0	5,7	6,5	5,7	6,3	6,8
	3.5 Circunferência da cabeça	52,0	54,0	57,2	54,8	57,3	59,9
4 MÃOS	4.1 Comprimento da mão	15,9	17,4	19,0	17,0	18,6	20,1
	4.2 Largura da mão	8,2	9,2	10,1	9,8	10,7	11,6
	4.3 Comprimento da palma da mão	9,1	10,0	10,8	10,1	10,9	11,7
	4.4 Largura da palma da mão	7,2	8,0	8,5	7,8	8,5	9,3
	4.5 Circunferência da palma	17,6	19,2	20,7	19,5	21,0	22,9
	4.6 Circunferência do pulso	14,6	16,0	17,7	16,1	17,6	18,9
	4.7 Cilindro de pega máxima (diâmetro)	10,8	13,0	15,7	11,9	13,8	15,4
5 PÉS	5.1 Comprimento do pé	22,1	24,2	26,4	24,0	26,0	28,1
	5.2 Largura do pé	9,0	9,7	10,7	9,3	10,0	10,7
	5.3 Largura do calcanhar	5,6	6,2	7,2	6,0	6,6	7,4

2.1.3.2 Percentis

Os resultados obtidos nas tabelas antropométricas são adotados durante a medida e o instrumento de medida usado em cada caso. Os resultados apresentados são divididos em percentis de 5%, 50% e 95% entre a população de homens e mulheres, dividida em faixas etárias, entre 3 a 65 anos de idade, a média para adultos é entre 16 e 65 anos (IIDA, 2005).

Representa uma amostra populacional por um amplo levantamento antropométrico entre homens e mulheres, com faixas etárias diferentes e etnias, brancos, negros e hispânicos.

De acordo com Miranda (2014) os dados colocados em uma curva se assemelham muito a uma curva gaussiana, a partir dessa curva obtêm as características de um dado boneco que é o uso de percentis. Divididos em 100 partes, correspondendo a 1% da distribuição normal, conseguindo os limites antropométricos de um projeto em termos de percentis. A Figura (5) apresenta o gráfico de Gauss de percentis x altura, ou seja, mostra como é a curva de distribuição de frequência de acordo com a altura, para homens americanos.

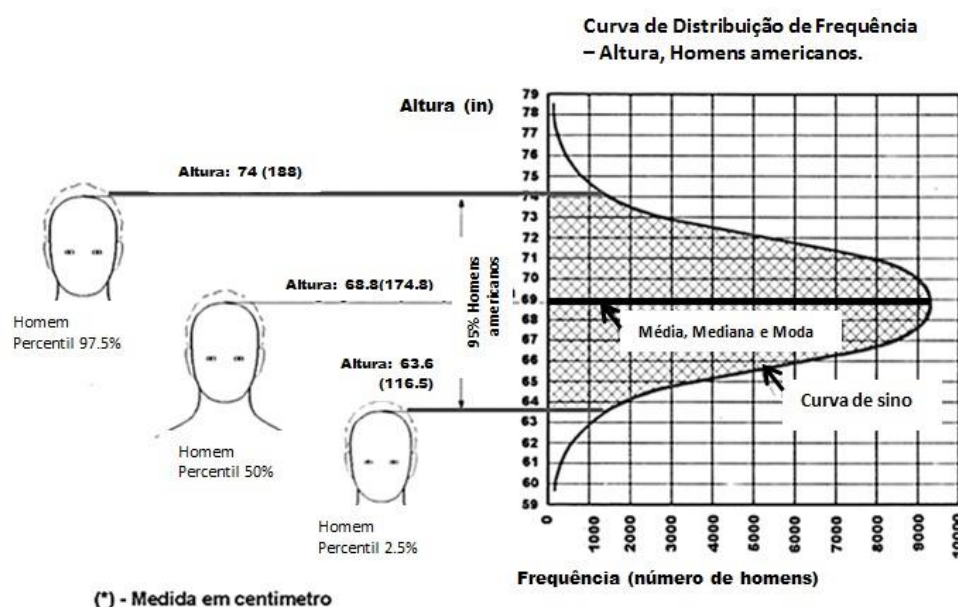


Figura 5 - Curva de distribuição de frequência (Fonte: Adaptado de Henrys Dreyfuss Associates, 1974).

Para um projeto ergonômico não deve considerar valores médios dos percentis, e sim seus extremos 5% e 95%. Isso corresponde que x% do levantamento antropométrico possui medidas inferiores ou iguais às desse percentil, 100 menos x% das pessoas possuem medidas superiores às desse percentil. Sendo que o percentil 50 corresponde à mediana. (MIRANDA, 2014)

Segundo IIDA (2005), em uma população de adultos, entre homens e mulheres as diferenças entre as estaturas, homens mais altos (97,5% da população)

mulheres mais baixas (2,5% da população) oscilam entre 188,0 cm e 149,1 cm, logo o homem mais alto é 25% mais alto que a mulher mais baixa. As diferenças dos comprimentos são de 78,2cm e 62,7 cm diferença também de 25%.

Estes dados não representam uma diferença entre a mulher mais baixa e o homem mais alto, porque essas pessoas extremas são excluídas, dentro de uma margem de 2,5% que foi considerada. Adaptando o corpo humano a um projeto com mais conforto, menores riscos de acidentes, fadigas e estresse. A Figura (6) apresenta as variações extremas do corpo humano.

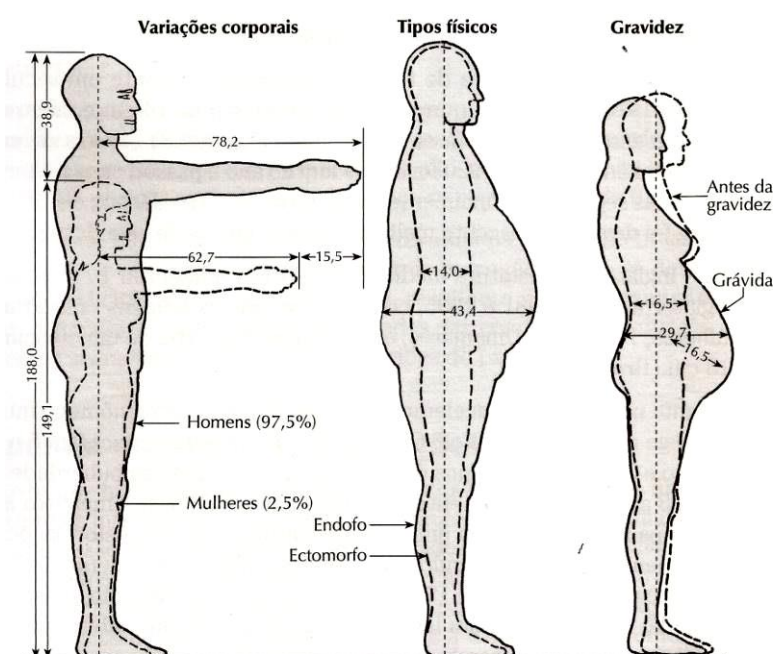


Figura 6 - Variações extremas do corpo humano (Fonte: DIFFRIENT et al., 1974).

2.1.4 Design Centrado no Usuário (DCU) – User Centered Design.

Design Centrado no Usuário (DCU) é utilizado em forma de filosofia de projeto, envolvendo os usuários e compreensão de suas atividades, necessidades e exigências, em projetos e sistemas interativos, de acordo com Abras, Maaloney & Preece (2004).

O usuário é colocado no centro do processo de desenvolvimento de produtos e processos e/ou serviços, promovendo em um processo inovação com

características cíclicas interativas, inserindo o usuário em cada etapa seja pesquisa, prototipação rápida e avaliação (TORY & MOLLER, 2004).

Segundo a ABNT (2011), as atividades de projeto centrado no ser humano precisam estar presentes durante toda concepção do projeto de sistemas interativos são eles: compreender e especificar o contexto de uso, especificar os requisitos do usuário, produzir soluções de projeto e avaliar o projeto. Ver Figura (7).

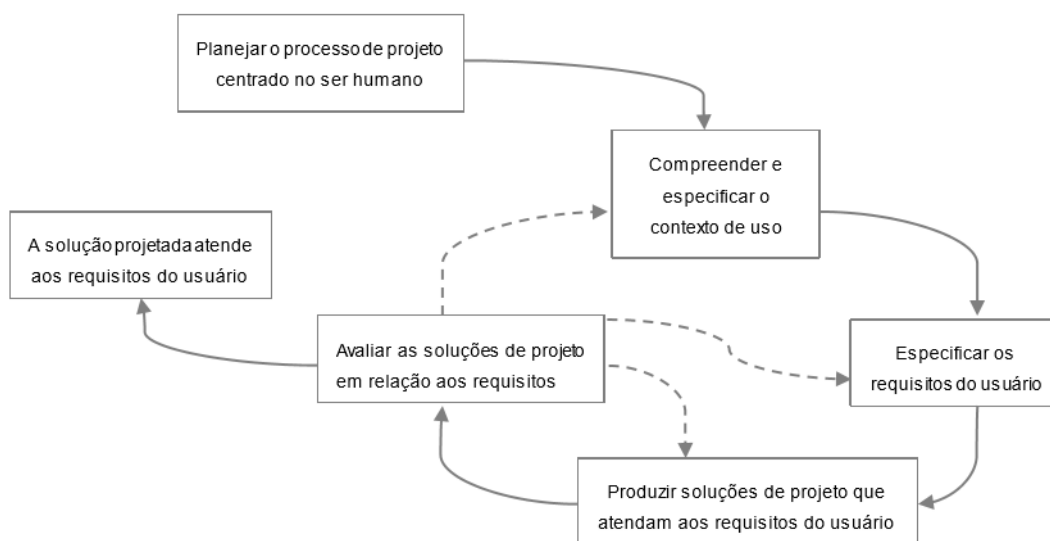


Figura 7 - Dependência entre as atividades de projeto centrado no usuário. (Fonte: ABNT, 2011).

2.1.5 Modelagem Digital Humana (DHM) – *Digital Human Modeling*.

O departamento da Boeing, Ryan & Springer (1969), divulgou um relatório usado no final da década de 1960 conceituando o *DHM*. Utilizando modelos em escala humana para contexto de pesquisas em várias aplicações industriais. Modelos de manequins 2D (tal como o padrão de ponto J826-H manequim SAE).

De acordo com (IIDA, 2005) modelos bidimensionais são mais simples construídos em papelão, madeira compensada ou plástico, configurando mulheres e homens de percentis 5%, 50% e 95%, podendo ser construídos em escalas de diversos tamanhos. O mais utilizado é em escala reduzida, 1:50 construída em madeira compensada ou plástico. Exemplos de modelos 2D podem ser vistos na Figura (8).

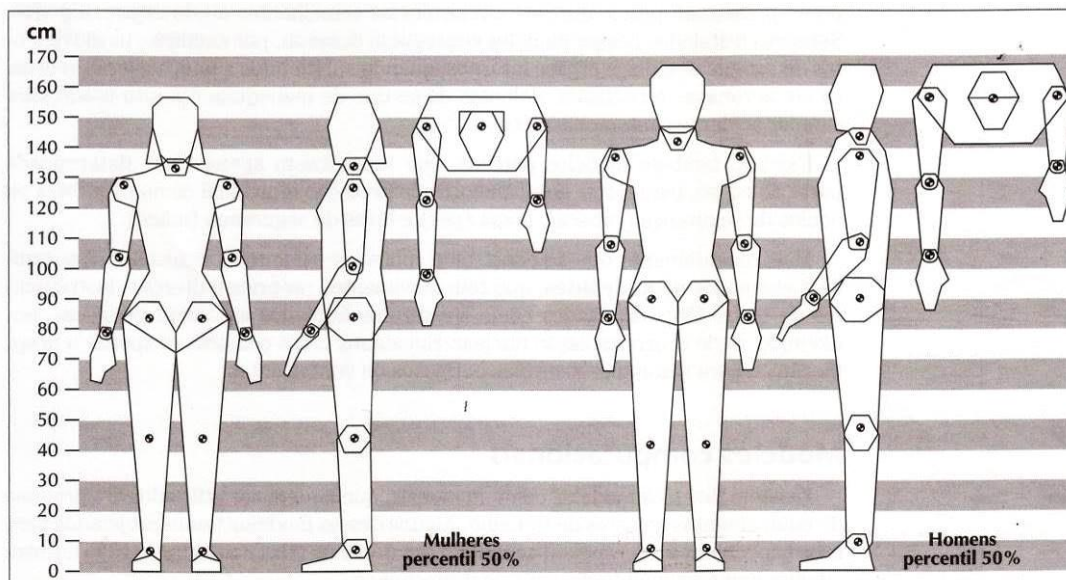


Figura 8 - Exemplos de modelo humanos bidimensionais articulados, representando percentis de 50%, em escala reduzida (Fonte: FELIZBERTO E PASCHORELLI, 2000).

Projetistas de produtos e postos de trabalho utilizam esses modelos para ajudá-los em seus projetos. Ver Figura (9). São muito úteis para testar aspectos críticos, como posicionamento dos controles em postos de trabalho.

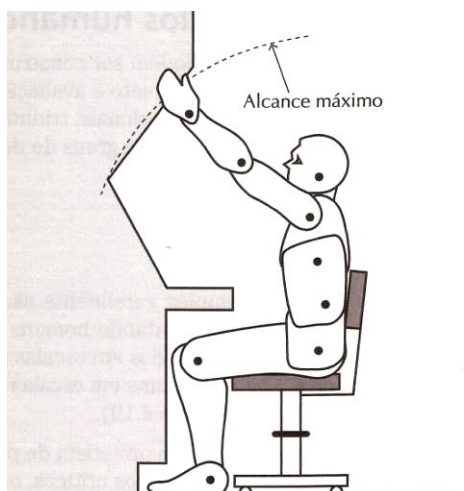


Figura 9 - Modelo bidimensional articulado, usado para testar o dimensionamento de postos de trabalho (Fonte: IIDA, 2005 p 130).

Os modelos reduzidos apresentam diversas vantagens, baixo custo e a facilidade de transporte e armazenamento, suas desvantagens são que não podem ser utilizados em trabalhos que exijam medidas mais precisas, o maior problema é sua planificação, representando apenas uma das vistas: lateral, frontal ou superior.

Para estudos mais avançados podem ser construídos modelos tridimensionais, chamados manequins, testando não apenas o dimensionamento de espaços, mas também para medir outros parâmetros, como a distribuição de pesos, momento de inércia, resistência e impacto. Manequins sofisticados reproduzem todo o contorno do corpo apresentam pesos, durezas e resistências semelhantes ao organismo vivo (IIDA, 2005).

Mais recentes são os andróides, possuindo movimentos próprios e diversos instrumentos de teste, usualmente utilizados como substitutos de humanos em situações perigosas, por exemplo, onde ocorre radiação nuclear, nestes casos com radiação produz apenas um braço mecânico que manipularia materiais perigosos.

Estes modelos humanos são utilizados em processos de design em um ambiente 3D, permitindo que considerações sejam levadas em conta o mais cedo possível, minimizando custos, podendo mudar a configuração de veículos muito mais fácil do que em um contexto real.

2.1.6 Aplicações de *DHM* na indústria automotiva

A modelagem digital humana (*DHM*) é amplamente utilizada na indústria automotiva. A *Society of Automotive Engineers – SAE* é uma organização que desenvolve normas para engenheiros profissionais, principalmente em dois ramos: aeroespacial e automotiva. Ela também apresenta normas para indústrias de veículos comerciais. A *SAE* possui mais de 1600 normas técnicas para a concepção veicular de passageiros, muitas são normas para *Package* dos ocupantes de veículo.

Conferências são realizadas como a Associação Internacional de Ergonomia (IEA). Sendo que a indústria automotiva foi a primeira a criar um veículo totalmente 3D, antes mesmo do que qualquer material físico do automóvel estivesse concebido.

As principais características do *DHM* estão no *Package* do ocupante seja o motorista ou passageiro, integrando o humano dentro do veículo de acordo com suas necessidades, funcionalidades e limites dimensionais (MIRANDA, 2014).

Isso representa um exemplo de adoção *DHM* dentro de um ambiente de gerenciamento de ciclo de vida do produto (PLM). As principais aplicações automotivas de *DHM* em veículo estão no *Package* do ocupante (integração do humano dentro do veículo de acordo com as suas funcionalidades e limites dimensionais) e na manufatura digital.

2.2 PACKAGE AUTOMOTIVO

O *Package* automotivo é a concepção e a organização do espaço veicular, direcionada aos ocupantes de um veículo, acomodando suas necessidades, limites físicos e conforto. Conhecer todos os parâmetros do veículo garante estabelecer uma gama de dimensões dentro de uma categoria de veículo e custos, assim o projetista tem a capacidade de desenvolver um veículo competitivo, confortável e adequado dentro de família de dimensões.

O *Package* automotivo dita como realmente o veículo deve ser projetado, fornecendo todas as informações necessárias para que os designers de peças consigam com clareza e exatidão construir as peças adequadas ao veículo. O fator humano é decisivo e uma obrigação para a integração do projeto, desde sua fase inicial até a sua finalização. Ao projetar um veículo, é preciso que o design seja alinhado com o posicionamento e o orçamento adequados do produto, bem como a configuração da linha de produção, garantindo assim que todos esses fatores sejam incorporados ao *Package* automotivo determinando o número de vendas (ROSNAH et al, 2007).

“*Package* é o termo usado na indústria automotiva para descrever a inserção harmoniosa de vários componentes e sistemas do espaço do veículo/arquitetura.” (MIRANDA, 2014 p 24).

O *Package* automotivo é o ponto de partida dos processos de design de um automóvel, as marcas possuem diferentes configurações, comparando com carros de mesmo segmento, notam-se diferenças nos assentos, seus arranjos e alturas, um dos fatores é que cada empresa possui suas próprias diretrizes.

2.2.1 Package do Ocupante do veículo – *Vehicle Occupant Packaging (VOP)*

O *Package* do Ocupante baseia-se em modelos estáticos, ergonômicos, conforto, presença, tecnológico e visual, codificadas em práticas da SAE, como a SAE J941 elipses oculares do motorista, estes modelos configuram uma concepção humana virtual representando os ocupantes. Os *Packages* atuais fornecem boas soluções quanto a problemas relativamente sem restrições, obtendo também bons resultados quando muitas restrições são ativas, como o espaço livre e linhas de visão restritas requerem uma abordagem mais rigorosa (PARKINSON, 2006).

A modelagem do motorista precisa usar modelos contínuos que retêm a variação residual associada ao desempenho e preferência, permitindo o uso de metodologias de otimização desenvolvidas especificamente para aquele veículo. Esses métodos e modelos facilitam a consideração de múltiplos fatores simultâneos e estudos de compensação podem ser realizados, é o caso da concepção do layout do interior do carro para os passageiros, com foco na colocação simultânea de faixas de ajuste do assento e do volante, ajuste e acomodação do motorista e visão exterior são explorados sob este paradigma, estes resultados obtidos em contraste com os manequins (PARKINSON, 2006). Ver Figura (10).

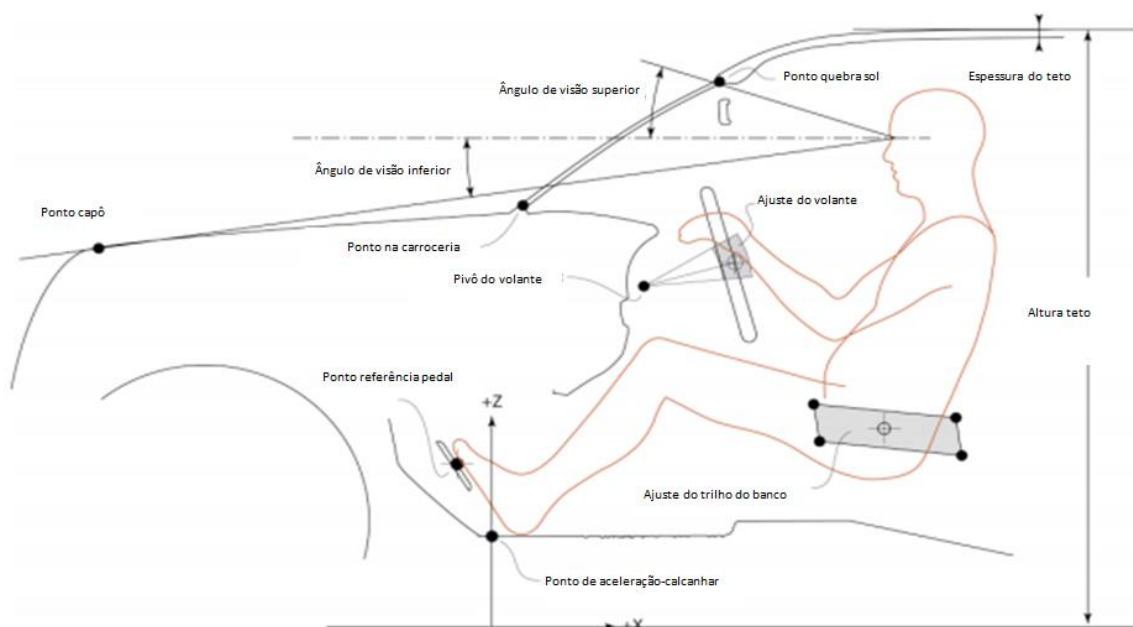


Figura 10 - Dimensões e pontos de referência utilizados na otimização de *Package* (Fonte: PARKINSON, 2006).

A utilização do *DHM* permite que todos os atores durante o processo de design possam contribuir com o fornecedor do assento, designers de painel,

membros da equipe de estaturas e outros participantes do processo e concepção (MIRANDA, 2014).

Pesquisas ainda são adicionadas para garantirem a carga necessária cognitiva, a resposta de estímulo e seus aspectos psicológicos. Garantido assim que o fator humano seja adequado ao tempo de resposta correto e necessário a situações exigidas. Sendo a segurança o aspecto crucial na concepção de qualquer projeto, em ambientes e validações totalmente virtuais.

2.2.2 O papel do ocupante no *Package* automotivo

O *Package* automotivo deve acomodar confortavelmente tanto o motorista quanto os passageiros, descrevendo os fundamentos de Ergonomia automotivos. Entretanto, o *Package* automotivo tanto é difícil como desafiador, em um mercado cada vez mais competitivo o design é de suma importância principalmente o design exterior na decisão de compra (MIRANDA, 2014).

O aspecto estético do automóvel, muitas vezes precede sobre as características e importâncias menos óbvias da Ergonomia veicular, é imprescindível, que a entrada da Ergonomia ao design do automóvel ocorra desde o início do projeto até a sua concepção. O processo automotivo sempre foi influenciado pela competitividade entre equipes de projetistas rivais ou designers, com o intuito que o seu projeto seja o mais sucedido, por consequência, no fim do projeto há um intenso foco na estética do design exterior à custa funcionalidade, tendo uma falsa sensação que o projeto pode ser modificado para incluir os critérios do *Package*.

Essa filosofia de construir do exterior para o interior é muitas vezes falha e complicada de se atingir, comprometendo os resultados desejados, para obter um projeto de sucesso, deve se atingir o objetivo com todas as restrições que foram definidas. Um carro não pode ser apenas uma estética exterior, pois assim compromete o *Package* automotivo. Durante todo o processo de desenvolvimento do veículo vários requisitos são envolvidos legais, manutenção, qualidade, fabricação, economia, requinte, durabilidade, confiabilidade, custo e outros.

O motorista e os passageiros são os elementos de alta relevância e importância para a concepção dos veículos e engenharia, é de suma importância, que o processo do *Package* garanta suas definições e objetivos (MIRANDA, 2014).

2.2.3 O processo de desenvolvimento do *Package* Automotivo

O processo de desenvolvimento veicular, aumenta a riqueza de detalhes e realidade do esboço 2D, para virtuais em 3D e por último a geração de protótipos físicos. De acordo com a Norma SAE J1100 e diretrizes internas da empresa, a arquitetura do automovel básica é definida.

Surgindo o CAD, após a modelagem de um veículo virtual, através do software CATIA® e *Human Builder* na parte ergonômica, são analisados os seguintes parâmetros:

- a) antropometria e posição do motorista,
- b) visão interna e externa,
- c) disposição dos dispositivos e equipamentos,
- d) temperatura do *cockpit*,
- e) cor dos painéis,
- f) ruídos e vibrações e
- g) botoeiras e manetes.

As características descritas possuem normas e/ou recomendações, tanto para as suas aplicações e certificados. Para o projeto de um *cockpit* normas e referências são necessárias como:

- a) SAE J1100, *motor vehicle dimesions* (dimensões de motor do veículo),
- b) Escala antropométrica, HAD (2001),
- c) SAE J941, *Motor vehicle driver's eye locations* (visão do motorista no veículo),
- d) SAE J1050, *Describing and measuring the driver's field of view* (descrição e medidas do campo de visão do motorista),
- e) SAE J1052, *Motor Vehicle driver and passenger head position* (posição do motorista e cabeça do passageiro no veículo),
- f) SAE J287, *Driver hand control Reach* (alcance do controle manual do motorista),

- g) *SAE J826, Devices for use in defining and measuring vehicle seating accommodation* (dispositivos para uso na definição e medição do assento do veículo),
- h) *SAE J1517, Driver selected seat position* (posição do assento selecionada pelo motorista),
- i) *SAE J1516, Accommodation tool reference point* (Ponto de referência da ferramenta de acomodação),
- j) *SAE J1183, Determining seat index point* (determinando o ponto indicador do assento).

É preciso conhecer também os usuários finais deste automóvel, os ocupantes, como suas dimensões corporais, peso e posicionamento dos equipamentos no interior do veículo, atendendo suas limitações de percentis (MIRANDA, 2014).

2.2.4 Passo 1: Desenvolvimento inicial usando as Normas SAE e F-SAE Brasil e diretrizes internas da empresa

O primeiro passo no processo é, geralmente, a definição da postura do condutor, para que em seguida seja definida a forma e estrutura do veículo ao redor do motorista. Para tal processo é necessário consultar as Normas da SAE (*Society of Automotive Engineers* – “Sociedade de Engenheiros da Mobilidade”). Pois, ela disponibiliza vários artigos técnicos com as recomendações práticas, em um desses documentos, há recomendações sobre o proceder para elaboração de um *package* veicular inicial. Porém, segundo Miranda (2014) é necessária cautela em sua utilização, e seja qual for o *Package* deve ser verificado e aprimorado por meio de avaliações com voluntários humanos usando um *mock-up* físico.

Vale ressaltar que as normas da SAE podem ser mais aplicáveis para a população dos Estados Unidos. E, segundo o mesmo autor citado anteriormente, para aprimorar o *Package* do ocupante de forma adequada, os veículos projetados para os mercados globais vão exigir informações referentes a esses mercados. Pode-se então notar, diante disso, que se o projeto do veículo para um determinado

mercado com um biótipo do condutor muito distante do americano pode sofrer imperfeições se seu projeto tiver sido baseado nas normas da SAE.

É importante considerar, antes que o processo de localização do ocupante esteja definido, primeiramente o ponto de quadril do motorista – “*H-point*” (Ponto H). Este ponto é teórico e descreve um cruzamento da coxa do ocupante. Ver Figura (11).

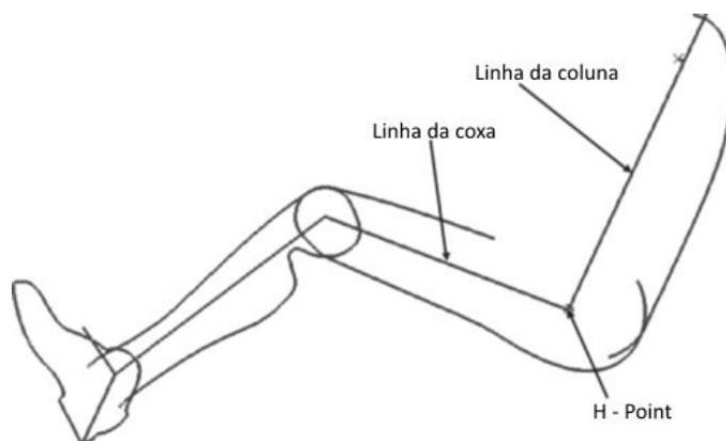


Figura 11 - Posição do H-Point. (Fonte: adaptado de MACEY & WARDLE, 2009).

Com a *H-Point Machine* (Máquina de ponto H) - 3D (de acordo com a norma SAE J4002), como ilustrado na Figura (12), a localização do ponto H em relação ao banco do carro físico pode ser determinada. Esse critério pode, então, ser usado para determinar a posição do ponto H em um modelo em 2D (Figura (11)) em relação a um assento de CAD. Desta maneira, o ponto H pode ser usado para comparar um dado físico com a geometria virtual.



Figura 12 - Equipamento para definição do Ponto H. (Fonte: HERRIOTTS & JOHNSON, 2013).

Dado que em um assento fixo que não é ajustável, existe, portanto, somente uma posição do ponto H, porém, em um assento regulável, como se observa na maioria dos veículos, no banco do motorista, por exemplo, o ponto H pode ser localizado em uma série de posições. As extremidades destes pontos podem ser desenhadas e nomeadas de “envelope de movimentação do assento”, essa linha é chamada de *Seat Track Travel*. Ver Figura (13). Para obter um ponto de referência para o *Package* dos ocupantes, o fabricante irá criar um ponto-H específico, conhecido como o ponto de referência do assento (*SgRP – Seating Reference Point*). Este é o ponto de referência usado para posicionar o modelo SAE 2D e é de extrema importância.

O *SgRP* é um ponto de referência fundamental para definir e descrever o *Package* e dimensões do veículo, ver Figura (13). Muitos dos fatores relacionados ao ocupante e os requisitos legais são cotados em relação ao *SgRP*. O engenheiro de *Package* e designer automotivo, portanto, precisa ter um bom entendimento disto. Além disso, o *SgRP* permite correlação entre o virtual e ambientes físicos, proporcionando um método consistente para a comparação dos veículos (internos e dos concorrentes).

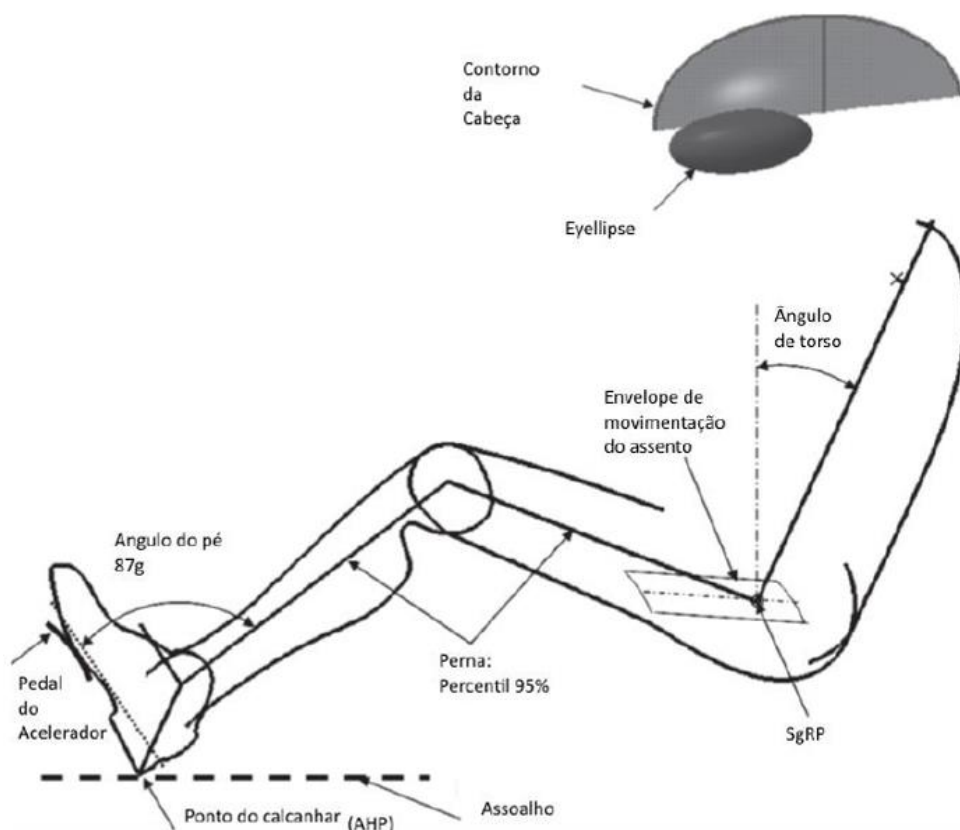


Figura 13 - *Template* para o H-Point (*SgRP*) do motorista. (Fonte: HERRIOTTS & JOHNSON, 2013).

Depois de ajustar o *Package* do motorista, as recomendações SAE são utilizadas para determinar o espaço ao redor do ocupante, também definição dos campos de visão, bem como a localização dos controles primários e secundários. Podem-se citar algumas recomendações (escritas em forma de documento técnico) usadas para estabelecer o *Package* como:

- Contornos da cabeça (SAE J1052) são usados para avaliar a estrutura da cabine superior do veículo, a fim de garantir a segurança e integridade física dos ocupantes ao certificar que o ocupante tenha espaço suficiente ao redor da cabeça.
- Localização de controle para a mão do condutor (SAE J287) assegura que o ocupante alcance dos controles primários e secundários.
- Localização ocular do condutor (SAE J941) garante que o motorista tenha uma visão adequada tanto interna, quanto externa e pode ser representado usando “*eyellipses*”. Ver Figura (13).

Ao final dessa etapa de desenvolvimento do *Package* dos ocupantes é esperado ter um *Package* inicial que pode ser usado como um bom ponto de partida. Por isso, pode-se dizer que o *Package* não tem grandes falhas. No entanto, está muito longe de ser um *Package* consolidado e inalterável e requer mais desenvolvimento e refinamento de cumprir com êxito as necessidades da população usuária. (MIRANDA 2014).

A competição no Brasil (Fórmula SAE Brasil) tem como objetivo oferecer a oportunidade de aplicar na prática os conhecimentos adquiridos em sala de aula, desenvolvendo um projeto completo e construindo um veículo tipo Fórmula. É importantíssimo destacar que as regras da competição não são nacionais, mas normas internacionais da SAE, ou seja, na competição brasileira seguem-se normas baseadas na população dos EUA.

2.2.5 Passo 2: Desenvolvimento Virtual e Avaliação do *Package* dos ocupantes

O processo de Design e Ergonomia pode contar com a contribuição de ferramentas computacionais, como uso de *softwares CAD (Computer Aided Design)* com modelos humanos digitais disponíveis nesse tipo de programa. Essa

modelagem computacional que conta com humano virtual tem como principal vantagem à possibilidade de configurá-lo para representar as pessoas de várias formas e tamanhos em muitas populações, e assim representar o grupo de usuários destinado a qualquer veículo. Pode-se citar o *software CATIA® (Humana Boiler)* que possui o pacote de *software* especializado e que será utilizado neste trabalho.

De acordo com Miranda (2014) o grande papel dessas ferramentas *CAD* é simular a interação das pessoas com um ambiente. Para tanto, o *software* escolhido deve primeiro ter sido validado para verificar se, por exemplo, as posturas, alcance e visão previstos, de fato, coincidem com aqueles experimentados por ocupantes humanos em um ambiente físico. Ainda segundo o autor o comportamento humano é complexo e, por isso, é difícil de ser modelado nesses ambientes. Muitos engenheiros acreditam que esses modelos humanos digitais representam a resposta a todas as suas questões de Ergonomia, e que eles podem emplacar com sucesso um veículo utilizando ferramentas de *CAD* com grande confiança no resultado final. A modelagem virtual humana traz muitos benefícios para o processo de design, mas deve ser usado como um filtro bruto para remover os mais óbvios problemas de *Package* dos ocupantes.

Experimentos com indivíduos representantes da população com um *mock-up* representativo irá evidenciar aspectos que não são evidentes na modelagem digital humana, como conforto em longo prazo, efeitos da fadiga, e uma série de questões sutis, tais como a aceitação do produto com base na experiência do passado. As principais vantagens da modelagem digital humana são de que o *Package* do ocupante pode ser desenvolvido e avaliado no início do programa veículo sem os altos custos associados à prototipação, com a concepção, construção e avaliação de um *mock-up* físico.

As normas que se aplicam a *cockpit* de veículos são a SAE J941, SAE J1050 e SAE J1052. Nelas encontram-se todas as definições e limites geométricos aplicados a um *cockpit*. A Figura (14) mostra as cotas e elementos de referência para um *cockpit*.

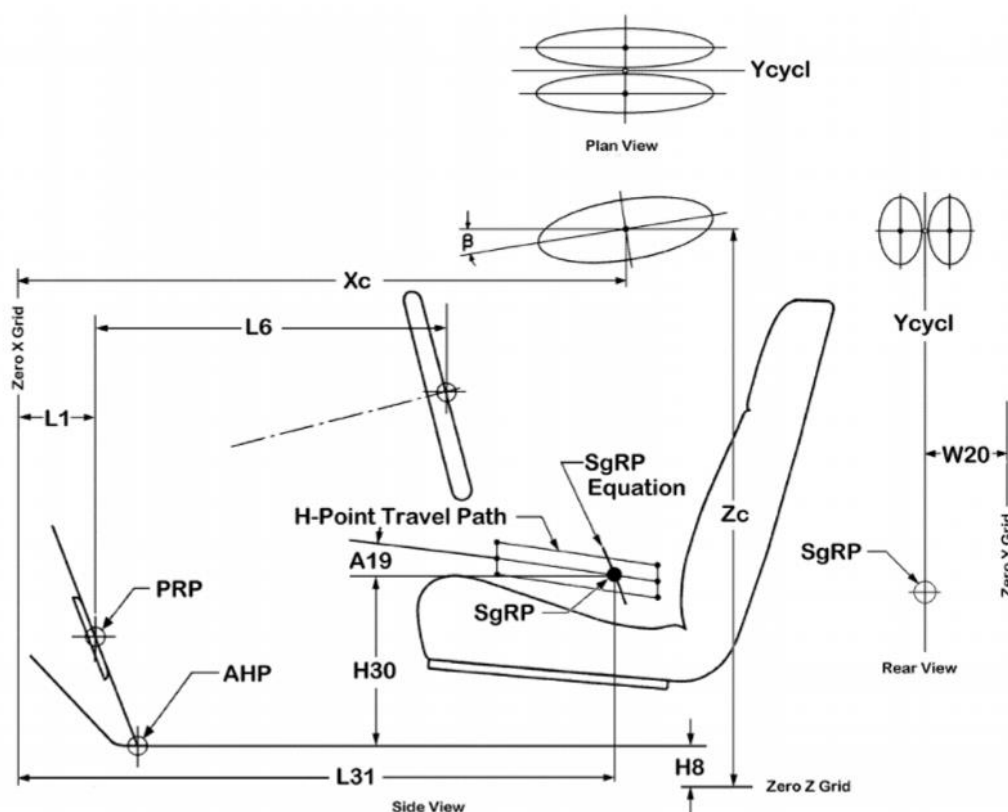


Figura 14 - Cotas e elementos de referências para um *cockpit* básico - (Fonte: SAE J941, 2002).

Vale ressaltar que em um projeto de *cockpit*, considera-se tanto a visibilidade externa quanto a interna com objetivo de torná-lo mais seguro para o motorista e para os seus ocupantes.

2.2.6 Passo 3: O uso da Realidade Virtual em uma CAVE

Uma CAVE (Caverna Digital, do inglês *Cave Automatic Virtual Environment*) é uma sala, um espaço cúbico, onde são projetados gráficos em 3 dimensões, em suas paredes, onde as faces e o chão são telas de projeção podendo ser visualizadas pelos usuários utilizando dispositivos avançados de interação, assim, no interior de uma CAVE o participante está rodeado de imagens usuários podem explorar e interagir com objetos, pessoas virtuais e outros para ter um ambiente virtual, desta forma há a conexão num mundo virtual.

Cada vez mais a indústria automotiva está buscando inovação, isso pode ser visto com o uso dessas CAVEs, que contribui bastante no processo de desenvolvimento de automóveis.

A Figura (15) mostra como o uso dessas CAVEs podem auxiliar um engenheiro automotivo, dando a ele a capacidade de avaliar a geometria do veículo antes da construção de um modelo físico, além de possibilitar a realização de avaliações rápidas e de comparação para então validar suas propostas.



Figura 15 - Desenvolvimento da Range Rover Evoque na CAVE JLR na Unidade em Gaydon: visão exterior otimizada. (Fonte: HERRIOTTS & JOHNSON, 2013).

É nesta etapa do processo que o *Package* do veículo se torna cada vez mais refinado e questões relacionadas ao veículo, como visão interior e exterior, são agora otimizados. Como, por exemplo, incluir o perfil do capô. A próxima etapa descreve o processo de modelagem (MIRANDA, 2014).

2.2.7 Passo 4: Modelagem física usando *Mock-ups* e Ensaio de usuários com representantes do cliente

Parte física do projeto, envolvendo a modelagem física do carro, *mock-up* e os ocupantes destinados aquele produto (voluntários com diferentes percentis), a utilização de *mock-up* permite uma precisão milimétrica de como será o projeto final, permitindo também uma precisão para os *Packages* dos ocupantes.

Uma ferramenta com custo elevado, por isso a necessidade de se utilizar e definir o ponto H da SAE garantindo que o envelope do assento seja representado com as geometrias pretendidas. Os *mock-ups* podem ser estáticos ou dinâmicos, os estáticos são fixos em ambientes laboratoriais, os dinâmicos são protótipos de veículos dinâmicos que podem ser conduzidos, sendo mais caros e levando mais

tempo para a sua concepção, essenciais para a definição de características que são melhores avaliadas em movimento como os espelhos retrovisores. Ver Figuras (16) e (17)



Figura 16 - Voluntário alto em um *mock-up* para definir o ingresso/egresso de uma Range Rover. (Fonte: HERRIOTTS & JOHNSON, 2013).



Figura 17 - Voluntária de baixa estatura avaliando a posição de direção e alcance dos instrumentos em um *mock-up* estático físico. (Fonte: HERRIOTTS & JOHNSON, 2013).

É necessário saber em qual região o veículo será comercializado, adequando todos os parâmetros e dimensões ao percentil populacional em questão (MIRANDA, 2014).

2.2.8 - Passo 5: Validação do veículo Finalizado: o *feedback* dos clientes que compram e utilizam o veículo finalizado

As pesquisas realizadas de estudo de execução e *Layout* de desempenho automotivo (APEAL), são retiradas do estudo de execução automotiva (APEAL), examinando o que os consumidores gostam ou não nos primeiros 90 dias de aquisição do seu novo automóvel, baseando-se em categorias de desempenho e design do veículo, e são elas: motor/transmissão, passeio, manipulação e travagem, conforto/conveniência, assentos, painel de cabine/instrumento, aquecimento, ventilação e arrefecimento, sistema de som e estilo/exterior (J.D. Power, 2016).

Essas Informações são preciosas, pois permite que os engenheiros compreendam os impactos de suas definições no projeto, a partir das percepções dos clientes e usuários, validando os resultados do processo de desenvolvimento, e aperfeiçoando futuros projetos veiculares.

2.3 SIMULAÇÃO VEICULAR E REALIDADE VIRTUAL

2.3.1 A Aplicabilidade dos Simuladores

O trânsito é um ambiente onde se encontra muitas variáveis envolvidas e que estão em constante interação como, pedestres, carros, motocicletas, caminhões, bicicletas e animais. Desta maneira, conduzir um veículo torna-se uma atividade complexa. Assim, ambientes virtuais proporcionam a construção de cenários e simulações que permitam a interação do jogador com o ambiente simulado de forma bastante semelhante à realidade.

Com os adventos computacionais no desenvolvimento de jogos, criou-se em seus jogadores o despertar de emoções, atitudes e habilidades. Segundo Ribeiro (2006), o desenvolvimento de um cenário virtual, através do jogo, traz benefícios, como: recriar cenários de difícil acesso, temporários e perigosos; possibilidade de criar um espaço virtual com a ocorrência de problemas e construção de situações contextualizadas. Para a educação no trânsito, a possibilidade de criar inúmeros ambientes com esses recursos, que contribui na interação sujeito-ambiente, como,

por exemplo, simular situações perigosas e, então, verificar a reação do sujeito isso em um ambiente controlado e sem riscos, é de grande valor.

Muitas pesquisas desenvolvidas utilizam simuladores para testar comportamentos, segundo Backlund et al. (2008) os jogos não são realistas, no sentido integral da condução, mas parecem ter um impacto sobre alguns aspectos da condução de um automóvel. É importante ressaltar que alguns simuladores de alta fidelidade permitem ao condutor a sensação de estar em um veículo real, o sistema interativo responde as ações do jogador de acionar o freio, o acelerador e a direção, e o estudo da utilização desses recursos em jogos e simuladores de direção vem contribuindo no desenvolvimento de uma metodologia de avaliação de motoristas como em jogos digitais com situações de trânsito. A Figura (18) apresenta um modelo destes simuladores de alta fidelidade (DREWS et al., 2008; FREUND e COLGROVE, 2008; ELLIOTT et al., 2007).



Figura 18 - Participante durante condução no simulador (Fonte: DREWS et al., 2008).

Os simuladores de direção produzem ambientes virtuais e possibilitam um controle muito mais rigoroso das condições experimentais (BAYARRI, FERNÁNDEZ & SANMARTIN, 1996). Desta maneira, seu uso vem sendo amplamente difundida no estudo sobre o comportamento de condutores, em condições como fadiga, sono, neblina, chuva dentre outras variáveis. Porém, os custos deste tipo de equipamento são elevados, limitando sua utilização.

2.3.2 O ato de dirigir

O ato de dirigir é sempre dinâmico, onde as situações se modificam constantemente. O condutor, na direção de seu veículo, deve ter atitudes seguras e corretas.

Este ato envolve um complexo processo de interação das funções psicológicas e cognitivas. Os motoristas estão expostos no trânsito a fatores de risco, e conduzir um veículo envolve alguns aspectos como: memória, atenção, tomada de decisões em um ambiente repleto de informações, como tráfego de pedestres, de outros veículos, diversidade de sons e imagens. A variedade de elementos envolvidos no ato de dirigir influenciam o comportamento dos motoristas e, conseqüentemente, sua forma de conduzir um veículo. Uma causa relevante, apontada na ocorrência de acidentes de trânsito, refere-se ao comportamento dos condutores e o fator humano é, muitas vezes, considerado o principal responsável por eles (ROZESTRATEN, 1988).

Muitos pensam que o ato de dirigir um veículo pode parecer uma atividade simples, quase automática, mas exige uma complexa articulação de funções do condutor. Segundo Hoffmann e González (2003, p.379), as principais funções psicológicas do condutor em atividade ao dirigir são:

- A correta capacidade perceptiva e atencional, para captar o que ocorre ao redor, identificar e discriminar os estímulos relevantes de situações e problemas de trânsito a serem resolvidos;
- Perceber a situação, interpretá-la corretamente e avaliá-la;
- Tomar uma decisão sobre a ação ou manobra mais adequada;
- Executar a decisão com a rapidez e precisão possíveis – a capacidade de resposta do condutor, as performances se referem às atividades sensório-motoras e psicomotoras que o condutor utiliza para o controle do veículo;
- Devem-se considerar também os processos e variáveis mediacionais, como personalidade, inteligência, estilos cognitivos, motivação, aprendizagem, experiência, memória, que modulam o funcionamento dos processos psicológicos.

A investigação do proceder dos motoristas e a avaliação, diante das inúmeras características intrínsecas ao ato de dirigir, demandam métodos que possibilitem averiguar a dinâmica desses fatores. Neste contexto, a utilização de recursos

tecnológicos no processo de avaliação de condutores é de grande importância, por possibilitar a utilização de sons e imagens, a caracterização de situações de trânsito que possibilitem, a partir da interação do motorista com esse ambiente, averiguar a sua capacidade perceptiva e atencional, suas decisões e seu desempenho. Hakamies-Blomqvist (1996) estrutura um esquema correlacionando as funções psicológicas e sua demanda ao dirigir (adaptado e apresentado na Tabela (3)).

Tabela 3 - Principais tarefas envolvidas no desempenho dos motoristas (Fonte: adaptado de HAKAMIES-BLOMQVIST, 1996).

Campo Funcional	Tarefas Demandadas
Percepção	Detectar objetos; Perceber movimentos; Estimar velocidade.
Atenção	Focar a atenção; Varredura do campo perceptivo; Atenção seletiva. Reagir a eventos inesperados.
Habilidades Motoras	Desempenhar manobras com alto nível de complexidade (por exemplo: estacionar o carro numa vaga de difícil acesso); Manuseio dos diferentes controles de veículo.
Outros processos cognitivos e comportamentais envolvidos na interação com outros usuários do ambiente viário.	Prever o comportamento dos outros usuários da via a partir da observação; Comportar-se de maneira previsível; Capacidade de negociar a entrada num fluxo ou numa interseção.

A percepção é um processo relacionado à atenção, e muitas vezes estas são confundidas. O processo de interpretar, selecionar e organizar as informações obtidas sensorialmente refere-se à percepção. Esse é o construto que propicia sentido, a partir de conhecimentos passados, aos objetos captados pela atenção (ROZESTRATEN, 1988).

No trânsito, a todo o momento, há situações que exigem por parte dos condutores atitudes que demandam atenção, percepção e habilidades motoras como, por exemplo, ao se deparar com um buraco na pista e reagir a este evento

inesperado. Nesse caso, deve-se considerar a variável velocidade, uma vez que quanto maior ela for menor será o tempo para a reação do motorista.

Muitas vezes, a falta de habilidade de alguns motoristas pode ser a causa de acidentes de trânsito, e uma forma eficaz para reduzir o número de acidentes é proporcionar uma melhor formação ou reciclagem em reparação às competências do condutor.

Conforme mencionado anteriormente, no final do segundo parágrafo deste item, os fatores humanos são os grandes responsáveis pelo envolvimento em acidentes, e para Rozestraten (1988, p. 95) isso se deve a "um comportamento falho, relacionado a alguma deficiência na ação do condutor, mais do que da agressividade deliberada ou da irresponsabilidade". Hoffmann e González (2003) ressaltam que, entre as falhas humanas que possam levar o condutor a sofrer um acidente, estariam às causas diretas e indiretas. Nas causas diretas estariam envolvidos:

- O problema ou erro de reconhecimento e identificação – sinais de trânsito, distâncias, obstáculos;
- Erros de processamento – o Código Brasileiro de Trânsito (CTB) que regula a circulação;
- Erros de tomada de decisão, ou erros de execução da manobra.

Os fatos abordados pelos autores Hoffmann e González (2003) mostram fatores que influenciam a forma de condução de motoristas e aumentam a possibilidade de envolvimento em acidentes. Sendo assim, merecem ser considerados na abordagem sobre os comportamentos de risco no trânsito.

2.3.3 Tipos de atenção

A atenção é um processo psíquico fundamental no trânsito, principalmente para o condutor, ao dirigir, por este se encontrar em um ambiente com muitos estímulos, como pedestres, ciclistas, sinalizações, sons diversos. Ela pode ser explicada a como “o fenômeno pelo qual o ser humano processa ativamente uma quantidade limitada de informações do enorme montante de informações disponíveis

através dos órgãos dos sentidos, de memórias armazenadas e de outros processos cognitivos” (STERNBERG, 2000, p.78).

A discriminação de estímulos é um fator de alerta na verificação de indícios de perigo ao se conduzir um veículo. Conforme Sternberg (2000), a atenção possui quatro funções principais:

- Atenção seletiva – a capacidade de selecionar um estímulo dentre vários, permitindo checar previsões, geradas a partir da memória, de regularidade passadas no ambiente (ex: estudar ouvindo música). Capacidade de concentrar a atenção em alguns estímulos em detrimento de outros (JOU, 2006);
- Vigilância – a expectativa de detectar o aparecimento de um estímulo específico. TONGLET (2002) também a denominada como atenção concentrada ou sustentada;
- Sondagem – procurar ativamente estímulos particulares (ex: procurar chaves perdidas);
- Atenção dividida – é a possibilidade de o indivíduo manter sua atenção em estímulos diferentes para executar mais de uma tarefa simultaneamente (ex: conversar facilmente enquanto dirige). Esse tipo de atenção indica que, para a divisão da atenção, uma das informações deve estar sendo mediada pelo processamento automático; a outra, por meio de esforço cognitivo, pelo processamento controlado.

Falhas na concentração ao conduzir um veículo podem alterar o tempo normal de reação atenção-comportamento que ocasiona riscos no trânsito. Diante do exposto, podem-se citar alguns fatores que alteram a concentração e o geram retardo nos reflexos como:

- Consumir bebida alcoólica;
- Usar drogas;
- Usar medicamento que modifica o comportamento;

- Ter participado, recentemente, de discussões fortes com familiares, no trabalho, ou por qualquer outro motivo;
- Ficar muito tempo sem dormir, dormir pouco ou dormir muito mal;
- Ingerir alimentos muito pesados, que acarretam sonolência (DEPARTAMENTO NACIONAL DE TRÂNSITO, 2005, p. 9).

Portanto, para um desempenho seguro, o motorista deve estar atento e observar os fatores citados acima, uma vez que ele não está apto a conduzir um veículo se estiver incluso em algum desses fatores, os quais devem ser evitados ao dirigir, principalmente no que diz respeito à bebida alcoólica ou a drogas, pois além de reduzirem a concentração, afetam a coordenação motora, mudam o comportamento e diminui o desempenho, o que limita a percepção de situações de perigo, reduzindo a capacidade de ação e reação. Para Marín & Queiroz (2000), o consumo de álcool é o fator mais associado a acidentes, pois dificulta a tomada de decisões e entorpece as habilidades psicomotoras.

O desvio de atenção pode representar momentos decisivos, pois segundos fazem a diferença no trânsito em momentos cruciais entre colidir ou não. A Tabela (4) abaixo mostra alguns desvios de atenção com seu respectivo tempo e distância percorrida pelo automóvel

Tabela 4 - Desvio de Atenção. (Fonte: Volkswagen *apud* site DETRAN/MT Departamento Estadual de Trânsito de Mato Grosso).

Ação do motorista	Tempo gasto (estimado em segundos)	Distância percorrida à 100 km/h (em metros)
Acender um cigarro	3 s	80 m
Beber um copo de água	4 s	110 m
Sintonizar o rádio	4 s	110 m
Procurar objeto na carteira	+ de 3 s	Mais de 80 m
Consultar um mapa	+ de 4 s	Mais de 110 m
Discar número de telefone	5 s	Mais de 110 m

Ao dirigir um veículo, o condutor, está constantemente sujeito a imprevistos e deve decidir sobre os procedimentos a serem tomados, da forma mais rápida possível, ou seja, o processo de reação, como ao deparar-se com um obstáculo na

pista. Segundo Khisty & Lall (2003), o processo de reação envolveria a percepção – processo pelo qual um indivíduo extrai uma informação necessária do ambiente como insumo à sua tomada de decisão. Assim, é útil avaliar-se o tempo requerido desde a percepção até a reação. A percepção envolveria, então, o atraso na percepção (tempo entre visibilidade e ponto de percepção) e o intervalo de identificação de risco (tempo para conhecer que há possibilidade de acidente).

Sendo assim, a reação compreenderia o componente de tempo para análise e a tomada de decisão, mais o tempo efetivo de resposta, por exemplo, colocar o pé no freio. Os autores destacam que o tempo comumente utilizado entre percepção e reação é de 2,5 segundos. E, compreende-se, assim, que o desvio de atenção, mesmo que breve a distância percorrida, pode ocasionar um acidente. A utilização do telefone celular, segundo a Tabela (4) consumiria provavelmente 5 segundos, o dobro do tempo entre a percepção e a reação, que é de 2,5 segundos.

As pesquisas sobre os comportamentos de condutores, as funções psicológicas e cognitivas presentes no ato de dirigir, os aspectos de segurança no trânsito e os investimentos, nesta área, tornam-se relevantes, pois o trânsito de cidades e rodovias brasileiras se encontra caótico. A procura de respostas para os problemas de trânsito vem ao encontro da busca por possíveis soluções. Não se pode atribuir apenas ao condutor a responsabilidade dos acidentes e sim considerar um complexo sistema envolvendo conservação e construção de vias, aspectos meteorológicos, fiscalização dentre outros. No entanto, o fator humano possui um papel de fundamental importância frente aos riscos no trânsito.

2.3.4 Uso de Simuladores nos CFCs

Depois de ser adiado várias vezes, em janeiro deste ano, prazo final dado pelo Conselho Nacional de Trânsito (CONTRAN), o novo Código de Trânsito Brasileiro implantou os simuladores de direção em todos os Centros de Formação de Condutores (CFCs), termo atual para as antigas autoescolas. O CONTRAN determinou a obrigatoriedade do equipamento nas autoescolas de todo o país. Por enquanto, a resolução vale apenas para a categoria B, referente a carros de passeio. Mas o plano do CONTRAN é estender o uso de simuladores para obtenção de habilitação para caminhões, ônibus e até motos.

Na visão de especialistas em trânsito, a falta de aulas práticas é o motivo pelo qual há a má formação de motoristas no Brasil haja vista que os novos condutores, principalmente os jovens, estão constantemente envolvidos em acidentes. Eles afirmam que 20 horas/aula não são suficientes para consolidar a prática de direção.

O uso de simuladores antes do treinamento em um carro real objetiva uma instrução primária, já que as tarefas que o aluno realiza no simulador servem para condicioná-lo a conseguir utilizar os equipamentos mais facilmente. A intenção é diminuir o risco de acidentes com quem está tendo os primeiros contatos com a direção de um veículo. Além dos instrumentos do carro, o simulador recria várias situações do dia a dia do motorista, como rodovia com chuva, presença de animais na via e ultrapassagens. A Figura (19) abaixo mostra uma aluna no simulador de autoescola.



Figura 19 - Aluna no simulador de autoescola. (Fonte: Jornal A Cidade, website).

O candidato a novo condutor deve inicialmente ser aprovado no exame teórico e na avaliação médica. Depois, deve fazer treinamento no simulador por no mínimo cinco horas/aula. Somente após essa fase é que a pessoa inicia as aulas em um carro de verdade (mínimo de 20 horas/aula).

2.3.4.1 O *software*

O *software* permite a integração do veículo de aprendizagem com cenários, incluindo a inteligência artificial em tempo real. Os veículos são definidos pelos seguintes parâmetros: geometria da suspensão, as características do motor, sua aparência gráfica, sua pintura, tudo baseado no seu modelo 3D.

Mesmo com toda essa tecnologia facilitando o aprendizado, durante o uso do *software* é possível identificar falhas severas, como a falta de *feedbacks*, controles confusos e até instruções de uso, por exemplo, tais falhas prejudicam o desempenho do usuário durante a simulação e podem gerar prejuízo no aprendizado.

2.3.5 Realidade Virtual

De maneira geral, a Realidade Virtual baseia-se numa tecnologia de interface avançada que permite ao usuário interagir, visualizar e manipular objetos em diversos ambientes. Ela vem revolucionando a forma de interação homem-máquina, principalmente em sistemas complexos e possui um vasto campo de utilização, cenários e eventos com recursos como o uso de técnicas e equipamentos computacionais que ajudem na ampliação do sentimento de presença do usuário. Essa técnica permite maior imersão por parte do usuário.

Devido, em parte, à natureza interdisciplinar da realidade virtual, sua definição abrange várias áreas. Então, reforçando o que já foi dito, segundo Hancock (1995) pode-se dizer que a Realidade Virtual (RV) é a forma mais avançada de interface entre o usuário e o computador até agora disponível. A grande vantagem desse tipo de interface é que o conhecimento intuitivo do usuário a respeito do mundo físico pode ser transferido para manipular o mundo virtual. Trata-se de uma interface homem-máquina que simula um ambiente real e permite aos participantes interagirem com o mesmo (LATTA & OBERG, 1994).

Unindo outras definições de realidade virtual, Burdea & Coiffet (1994); Jacobson (1991); Krueger (1991), pode-se dizer que RV é uma interface, em que o usuário pode realizar imersão, navegação e interação em um ambiente sintético tridimensional gerado por computador, utilizando canais multissensoriais.

Quando um indivíduo experimenta na prática a realidade virtual, ele percebe e vê, em tempo real, um mundo de três dimensões, com seis graus de liberdade (6 GDL), que mostra a capacidade do *software* definir e a capacidade do *hardware* reconhecer seis tipos de movimentos: para frente/para trás, acima/abaixo, esquerda/direita, inclinação para cima/para baixo, angulação à esquerda/à direita e rotação à esquerda/à direita.

O grande atributo da RV é o de provocar no usuário o despertar, ao entrar no espaço virtual, de seus sentidos dando a impressão de que está imerso a determinado ambiente.

Os adventos tecnológicos proporcionaram uma rápida evolução no desenvolvimento de sistemas de realidade virtual e a criação de novas tecnologias

de interação homem-computador ainda mais econômicas e com uma maior propagação entre os usuários comuns.

2.3.5.1 Interatividade

Segundo Forsberg (1998), a interatividade pode ser explicada como a capacidade que o sistema tem de dar respostas às ações do usuário. Caso o sistema responda de maneira imediata, produzirá no usuário a impressão de que a interface está viva, gerando, desta maneira, uma forte sensação de realidade. Em função disso, a Realidade Virtual (RV), que é um sistema computacional, requer uso de técnicas de tempo real para a correta interação com usuário a fim de obter o maior grau de realismo pela qualidade destas respostas. Pois, na medida em que o usuário está imerso em um cenário (com imagens ou sons emitidos) mais parecido com o real, mais envolvido pelo sistema ele estará. Algumas características usadas como forma de avaliação do realismo podem ser vistas abaixo:

- Qualidade do som e imagem;
- Qualidade do ambiente virtual e porcentagem de realismo;
- Funcionamento dos dispositivos periféricos;
- Aspectos visuais como a utilização correta das cores;
- Qualidade da estimulação tátil e percepção de força.

2.4 ESTADO DA ARTE

Os avanços no desenvolvimento de novas tecnologias na área de simulação veicular de sistemas mais realistas deram-se de forma bastante rápida nos últimos tempos, fato que pode ser comprovado com a da popularização de simuladores veiculares domésticos, nos quais o usuário comum tem à disposição, dentro de sua casa, interfaces de simulação que antes eram de uso exclusivo de equipes profissionais de competições, como a F-1 e F-3.

O trabalho realizado por Miranda (2014) mostra a construção de uma bancada para simulação de direção em que o veículo avaliado foi um Honda CRV.

Seu trabalho tinha dentre outros objetivos a construção e testes de uma plataforma de simulação veicular universal em que se poderia avaliar, em qualquer ambiente, qualquer veículo com o uso da Realidade Virtual. A Figura (20) (a) abaixo, mostra o simulador físico, montado para os ensaios experimentais e em (b) mostra o posicionamento comparativo do simulador com relação ao veículo utilizado.

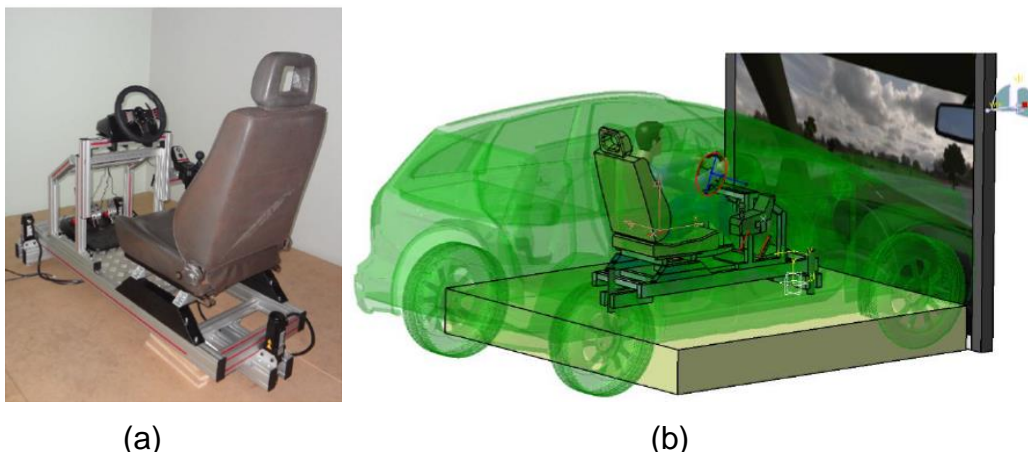


Figura 20 - (a) foto do simulador montado para os ensaios experimentais de simulação de direção (b) posicionamento comparativo do simulador com relação ao Honda CR-V – vista isométrica (Fonte: MIRANDA, 2014).

Uma de suas conclusões é que a simulação consegue potencializar os treinamentos de pilotos e condutores de veículos devido à proximidade da complexidade das ações feitas entre o ato real e o ato simulado, auxiliada por elementos que tornam a simulação mais próxima do real, como simuladores com movimentos, imersão audiovisual, entre outros.

Progressos quanto ao modelamento matemático dos simuladores, principalmente quanto a sua utilização em simuladores de baixo custo foram feitos, e isso permitiu a sua popularização. O trabalho dos pesquisadores CASOLO, CINQUEMANI e COCETTA (2008) tem um apelo didático para aqueles que desejam projetar um simulador veicular de baixo custo.

A pesquisa em simuladores veiculares avançados dá-se principalmente com a incrementação da Realidade Virtual e Aumentada nas interfaces com o usuário. Pesquisadores como YAN e WEIJIAN (2003) usaram a temática da visão computacional, Realidade Virtual e modelos cinemáticos de veículos aplicados em simuladores. E outros (ONIKI *et al*, IEEE, 2005), já apresentaram trabalhos usando a Realidade Aumentada e a simulação veicular.

No Brasil, na área de estudos com simulação e Ergonomia, tem-se o Laboratório de Ergonomia, Simulação e Projetos de Situações Produtivas da UFSCar – Universidade Federal de São Carlos, especializado no uso de *softwares* de simulação para realizar trabalhos relacionados com a Ergonomia e atividade humana. O laboratório, inaugurado em 2010, permite expandir os estudos e facilitar o trabalho dos pesquisadores do laboratório no uso de tecnologia de captura de movimento, simulação humana e visualização tridimensional.

Este presente trabalho visa à integração de diversos elementos estudados em separado, como análises ergonômicas e o uso de realidade virtual e validação ergonômica, dentro de um contexto de simulação veicular.

3 METODOLOGIA

Este capítulo apresenta a metodologia de projeto utilizada para o desenvolvimento do sistema, o levantamento dos requisitos de projeto, bem como sua idealização. Serão mostrados os procedimentos de avaliação e validação ergonômica da bancada experimental para o trabalho de conclusão de curso e o aparato experimental que foi utilizado no trabalho.

Este estudo é predominantemente experimental, onde uma bancada de simulação, que representa o *cockpit* do veículo Fórmula SAE elétrico da equipe FGR (*FGRacing*) foi previamente validada e estudada através da avaliação de *Package* (no pacote *Human Builder* do software *CATIA*® V5R19) de três manequins, com diferentes tipos corporais.

Depois desse estudo no *CATIA*® foram feitos os ajustes necessários na bancada, que foi parcialmente construída pelo aluno de graduação Denis Barbosa Sousa para o seu projeto de PIBIC em 2016/2017. Em seguida um *software* que permite a integração de realidade virtual com a implantação do cenário da corrida (ou seja, a simulação de um jogo, que terá como local o autódromo da competição Fórmula SAE-Brasil) para simular o *cockpit* do veículo e a pista da corrida. Finalmente todo o conjunto da simulação foi preparado no laboratório de prototipagem da Universidade de Brasília – Campus Gama, neste aparato experimental dez voluntários puderam sentar na bancada e conduzir o veículo na pista de competição, inclusive os pilotos da equipe.

A seguir será apresentada a metodologia que foi adotada desde o desenvolvimento da bancada e do simulador até a validação ergonômica que contou com auxílio dos voluntários e dos questionários aplicados para análise dos resultados.

3.1 METODOLOGIA

O Trabalho de Conclusão de Curso 1 se iniciou com uma bancada, ou *cockpit*, que foi parcialmente construída pelo aluno Denis Barbosa Sousa em seu projeto PIBIC (Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica) para auxiliar

a equipe de competição de Fórmula SAE, a FGR da Universidade de Brasília, Faculdade do Gama.

A competição Fórmula SAE é voltada para alunos graduandos, membros de equipes de diferentes Universidades, tendo como objetivo desenvolver, construir e projetar um veículo do tipo fórmula. O projeto é regido por normas e diretrizes do regulamento da SAE. A bancada foi desenvolvida inicialmente para a validação de um percentil americano 95%, regulamentado pela norma SAE T3.10, onde é verificado o posicionamento do piloto manequim 95% e principalmente a sua segurança (ver Figura (21) abaixo).

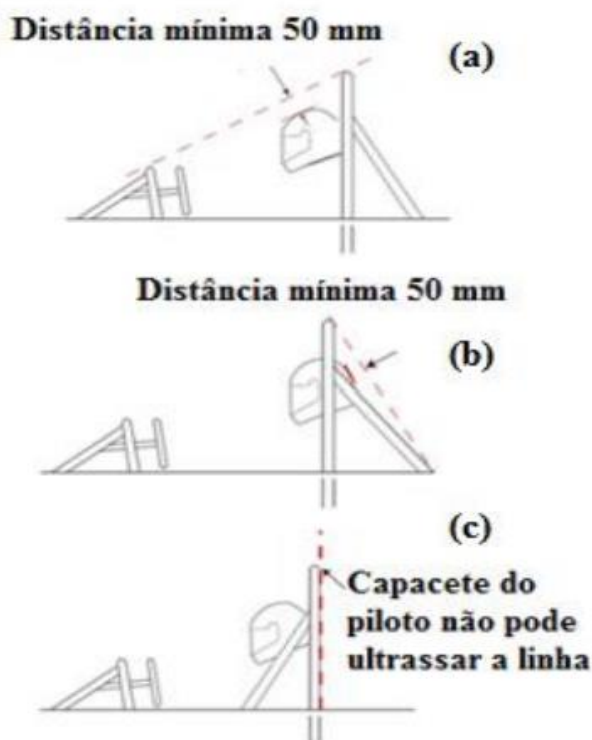


Figura 21 - a) Linha reta *Main hoop* e a cabeça do piloto, b) a cabeça do piloto à linha do *Main Hoop* com o suporte traseiro, c) a cabeça do piloto não pode ultrapassar a linha mais externa no *Main Hoop* (Fonte: Adaptado Formula SAE rules).

O ponto de partida para o estudo dessa bancada foi a sua modelagem em *software CAD* para realizar a idealização final e a validação dos *Packages* com os seguintes percentis, gênero e população respectivamente.

- a) 5% feminino japonês;
- b) 50% masculino francês;
- c) 95% masculino americano.

Além do percentil 95%, foram validados: o percentil 5% e o 50%, a escolha desses percentis se deve a sua boa representatividade dos tipos corporais existentes, os extremos (5% e 95%), passando pelo tipo corporal médio (50%).

O desenvolvimento do projeto de um simulador para validação ergonômica será de grande valia, tanto para equipes de competição, como também para exemplos didáticos e visuais. As análises que o simulador de *cockpit* proporcionará, poderão servir para a validação dos *cockpits* das equipes da SAE, tais como Mini Baja, Fórmula SAE, etc, além de instrumento de validação para os alunos da disciplina de Ergonomia Veicular. A próxima etapa do projeto foi a construção de um *cockpit* físico. Este será de bom proveito também para exemplos didáticos e visuais.

Nesta fase, a bancada experimental ainda estava inacabada, mas que foi estudada é mostrada abaixo nas Figuras (22), (23) e (24).

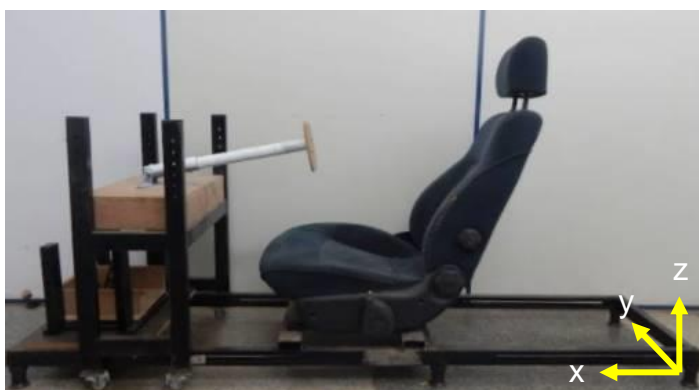


Figura 22 - Vista lateral direita da bancada (Fonte: Autores, 2017).



Figura 23 - Vista superior da bancada (Fonte: Autores, 2017).



Figura 24 - Vista frontal da bancada (Fonte: Autores, 2017).

O desenho da bancada proposto inicialmente pelos autores está representado nas Figuras (25), (26), (27) e (28) abaixo. As principais diferenças estão nos mecanismos do volante, bem como sua idealização, e do assento, que foi inserido nessa modelagem. A modelagem do banco foi cedida pela equipe para este estudo.

Este além de validar o veículo em análise, também será útil para outros projetos, haja vista que possui diversas regulagens.

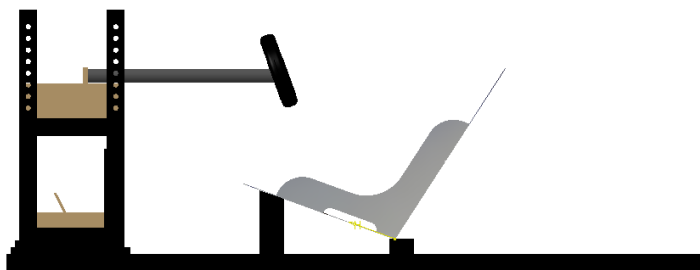


Figura 25 - Vista lateral direita da bancada (Fonte: Autores, 2017).

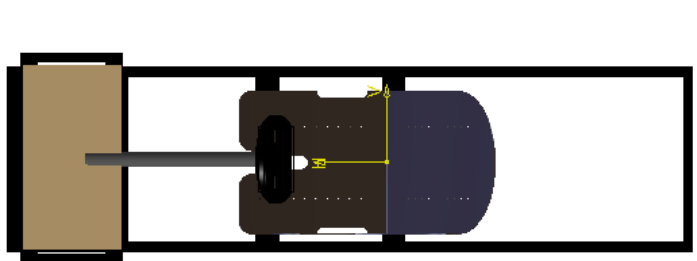


Figura 26 - Vista superior da bancada (Fonte: Autores, 2017).

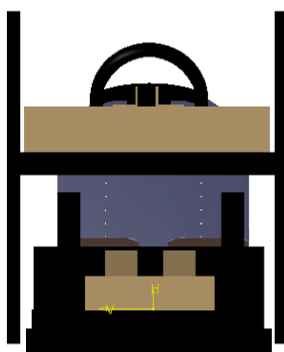


Figura 27 - Vista frontal da bancada (Fonte: Autores, 2017).

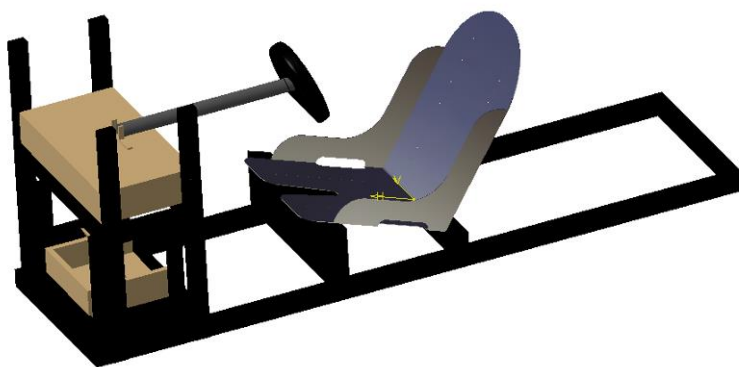


Figura 28 - Vista isométrica da bancada (Fonte: Autores, 2017).

As dimensões do *cockpit* a partir do *Drafting* podem ser visualizadas nas Figuras (29), (30) e (31), de acordo com o primeiro diedro.

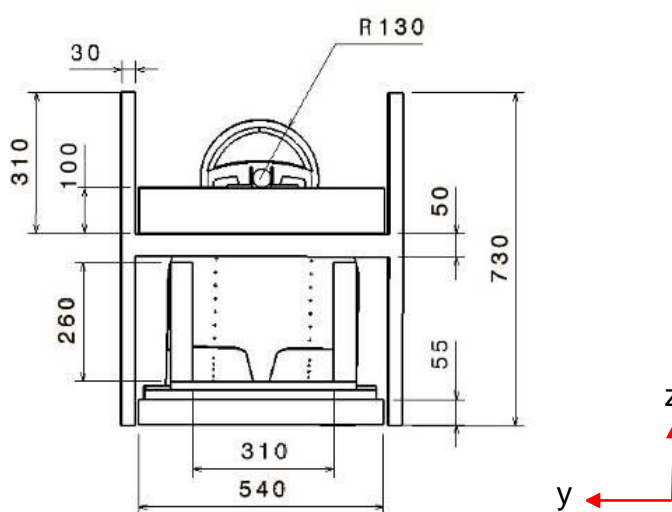


Figura 29 - Cotas da bancada, vista frontal ou elevação da bancada (plano 1), (Fonte: Autores, 2017).

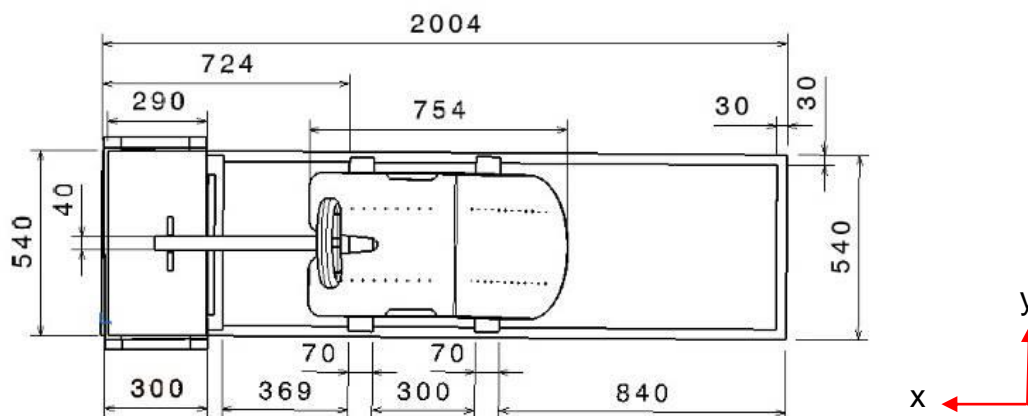


Figura 30 - Cotas da bancada, vista superior ou plana (plano 2), (Fonte: Autores, 2017).

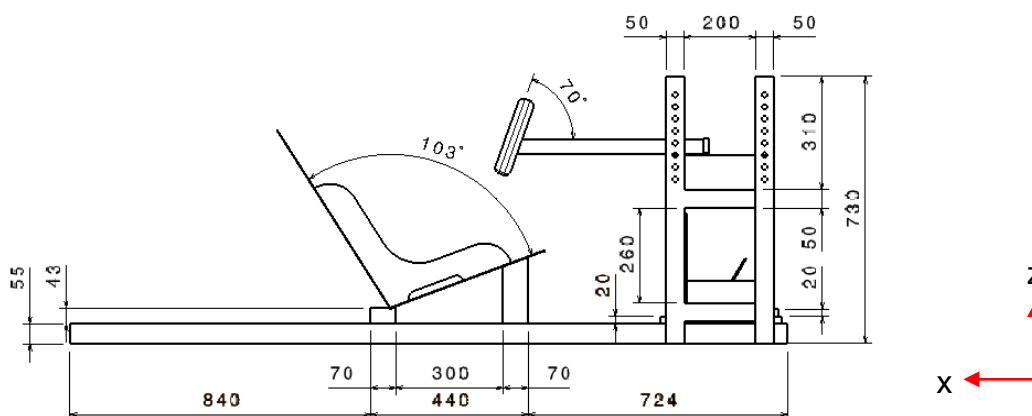


Figura 31 - Cotas da bancada, Vista lateral esquerda ou perfil (plano 3), (Fonte: Autores, 2017).

A Figura (32) apresenta a metodologia para a validação ergonômica do projeto CAD do veículo da equipe FGR através das análises RULA/Conforto, visão interna e visão externa e comparação entre a bancada e o carro, pela utilização do software CATIA®.

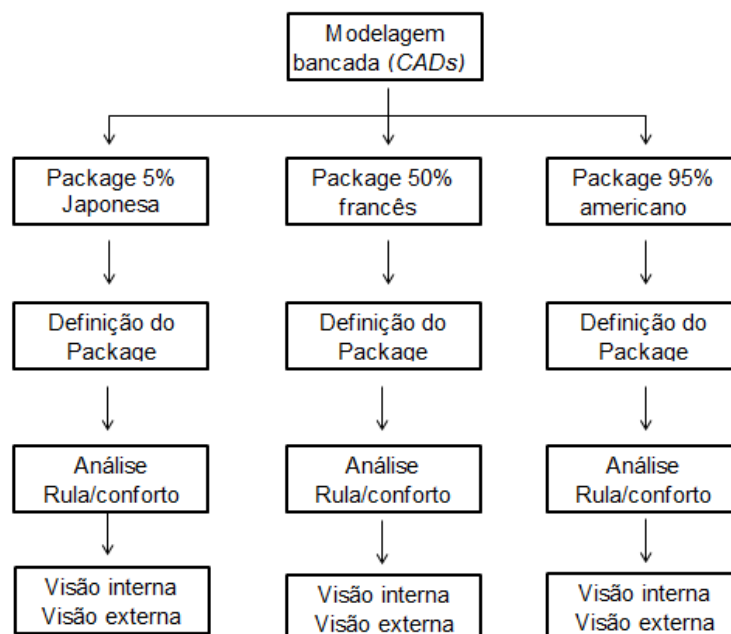


Figura 32 - Fluxograma da metodologia para a simulação inicial no Catia dos manequins(fonte: Autores, 2017).

3.2 APARATO EXPERIMENTAL

Neste item será exposta uma descrição detalhada da bancada e seus instrumentos que foram modificados e utilizados, a apresentação do *software Unity 3D®*, da pista e do veículo que foram simulados, e da escolha dos voluntários e os tipos de análises que foram realizadas.

Os elementos principais para realizar os experimentos de simulação foram o *software* de simulação (*Unity 3D®*) e a bancada que se assemelha a um *cockpit*.

A bancada foi adaptada, tornando possível o estudo do Fórmula FGR, graças ao seu mecanismo de regulação proposto, sendo realizada a integração dos CADs do *software CATIA®* com o *software Unity 3D®*. Em seguida foram feitas as análises com voluntários que responderam a questionários subjetivos, os questionários foram baseados no trabalho de conclusão de curso de Silva, 2017.

A integração dos *softwares* permite que o usuário dirija o veículo em uma pista simulada pelo *Unity 3D®*, nas mesmas dimensões internas que o veículo real, posição do volante, pedais e posição do banco, fornecidas pela bancada física. A integração da bancada na TV de 32 polegadas é possível através dos *joysticks* da

bancada utilizada na tese de doutorado do Miranda (2014), permitindo que o usuário possua os mesmos campos de visão que o automóvel simulado permite. A metodologia utilizada é representada no fluxograma abaixo, pela Figura (33).

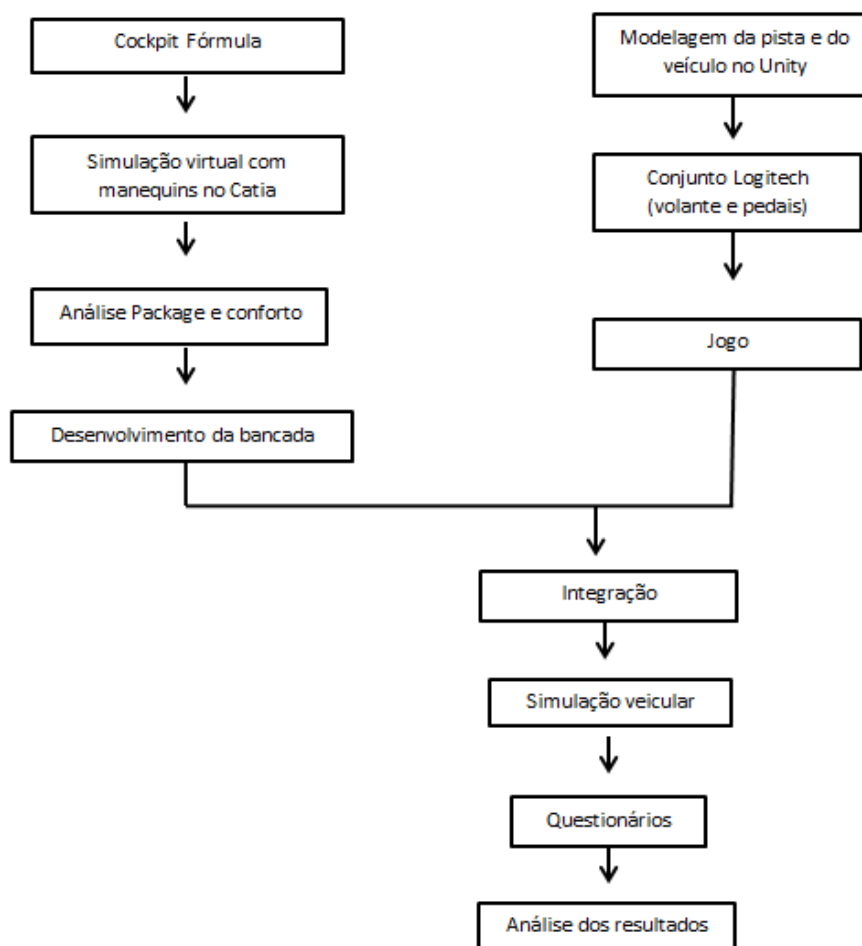


Figura 33 - Fluxograma da metodologia para o aparato experimental (fonte: Autores, 2017).

3.2.1 Plataforma de Simulação Veicular

A plataforma de simulação veicular compreende a parte física do aparato experimental. A bancada inicial, como já foi dito anteriormente ainda não estava terminada, no entanto, após as análises ergonômicas ela foi ajustada, montada e acabada conforme as informações do *software* segundo as definições do *Package*. Finalmente a plataforma posicionou o motorista voluntário dentro do ambiente de simulação reproduzindo um veículo real, que no caso foi o Fórmula da FGR.

O banco, volante e os pedais se movem ao longo do eixo x e y, paralelos ao chão. O volante além desse movimento também possui regulagem de altura, e o volante também possui regulagem de inclinação. Porém, para este simulador, que é

um simulador de cockpit do Fórmula, os mesmos mecanismos de ajustes foram setados, e são eles:

- Banco fixo e inclinação de 103°
- Pedais livres para se movimentarem ao longo do eixo x.
- Volante fixo

A base da plataforma foi fabricada com metalon, e ela serve de suporte para os pedais, volante e banco. O condutor é posicionado na plataforma veicular respeitando-se as regras de posicionamento do *Package* automotivo e normas da SAE.

O aparato experimental que foi usado para este estudo (adquirida pelo LART (Laboratório de Arte e Tecnociência) financiado pela CAPES- Prodoc - Quota PVNS - EDITAL MEC/CAPES – Nº 029/2010, pelo Projeto ARTE E TECNOCIÊNCIA - SISTEMAS BIOCÍBRIDOS ENFRENTANDO DESAFIOS DO ECOSISTEMA, sob a orientação e coordenação da Profa. Diana Maria Gallicchio Domingues e pela Universidade de Brasília – Campus Gama) utiliza um conjunto de direção para jogos de alto desempenho da Logitech, modelo G27. Seu conjunto possui pedais (freio e acelerador). A escolha desse conjunto deu-se pela alta confiabilidade e excelente precisão nos controles e porque o volante tem também o recurso de *force feedback*, permitindo a sensação real de direção de um veículo.

Cabe informar que estes conjuntos citados acima, como volante e pedais, foram anteriormente utilizados na tese de doutorado do Miranda (2014), e que os mesmos estavam fixados em uma outra plataforma estudada e analisada em seu trabalho.

A Bancada foi então finalizada fazendo alguns ajustes para adaptação do banco, dos *joysticks*, e da base para TV (vale lembrar que a proposta inicial era de projetar o jogo em uma tela *CAD Wall*, mas por questões estruturais da Universidade, isso não foi possível, a alternativa encontrada foi de projetar o jogo em uma TV de 32 polegadas que estivesse em cima de uma base na própria bancada).

Foram feitos cortes, soldagem, e fixação com parafusos em toda a bancada, e, ao final, foi feito o acabamento com lima, lixa, e por fim, a pintura com tinta spray preta fosca. As figuras (34) à (37) abaixo mostram o resultado final da bancada para as simulações da segunda etapa deste trabalho.



Figura 34 - Vista lateral direita da bancada simulada (Fonte: Autores, 2017).



Figura 35 - Vista superior da bancada simulada (Fonte: Autores, 2017).

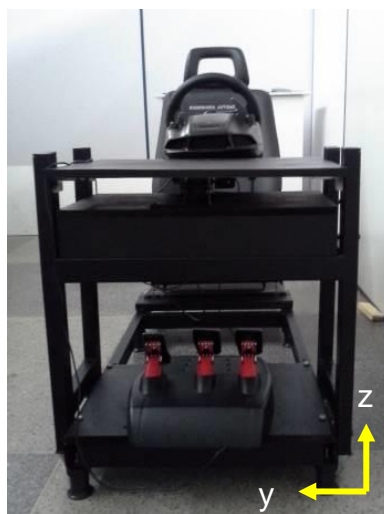


Figura 36 - Vista frontal da bancada simulada (Fonte: Autores, 2017).

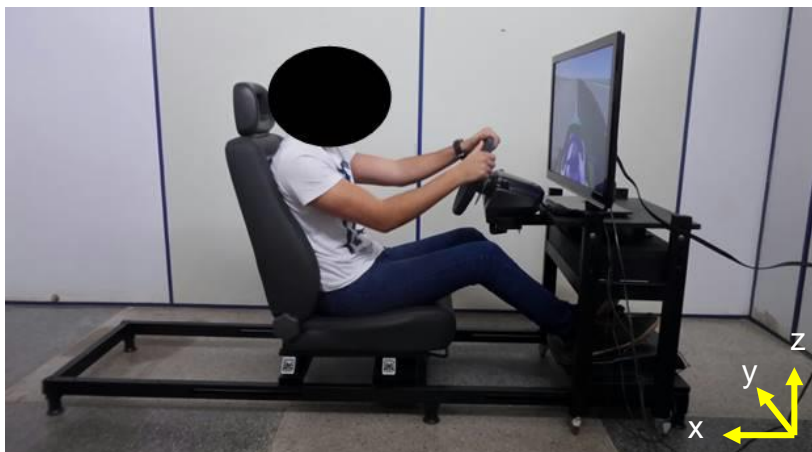


Figura 37 - Foto do simulador montado para os ensaios experimentais (Fonte: Autores, 2017).

O desenho final da modelagem da bancada proposto pelos autores está representado nas Figuras (38), (39), (40) e (41) abaixo.

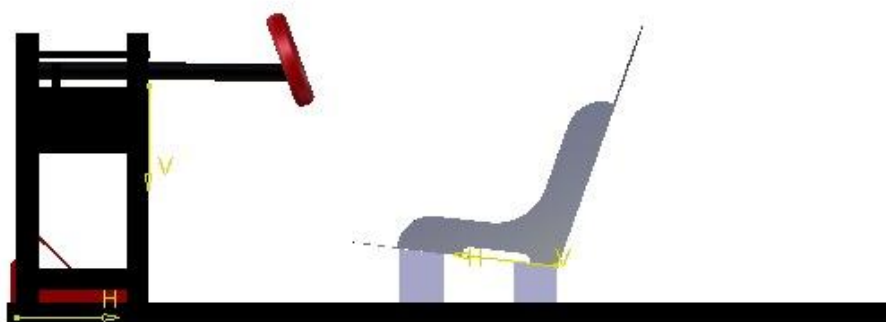


Figura 38 - Vista lateral da modelagem da bancada (Fonte: Autores, 2017).

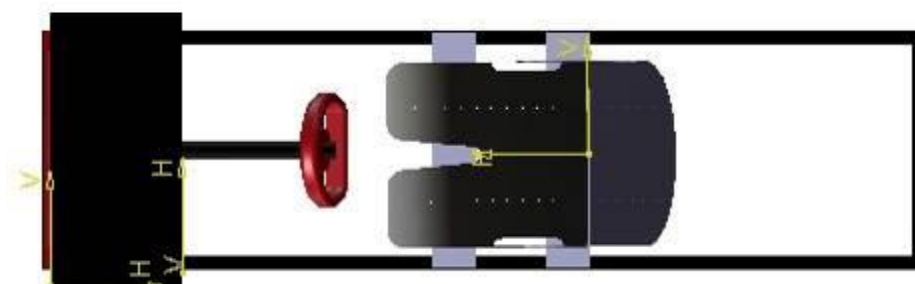


Figura 39 - Vista superior da modelagem da bancada (Fonte: Autores, 2017).

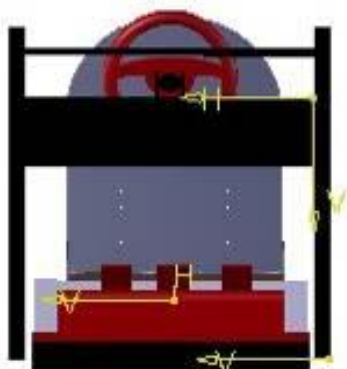


Figura 40 – Vista frontal da modelagem da bancada (Fonte: Autores, 2017).

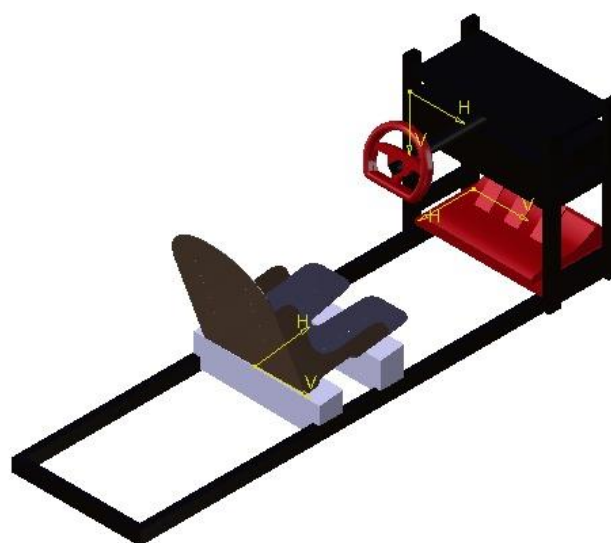


Figura 41 - Vista isométrica da modelagem da bancada (Fonte: Autores, 2017).

As dimensões da bancada, que foi simulada, a partir do *Drafting* podem ser visualizadas nas Figuras (42), (43) e (44).

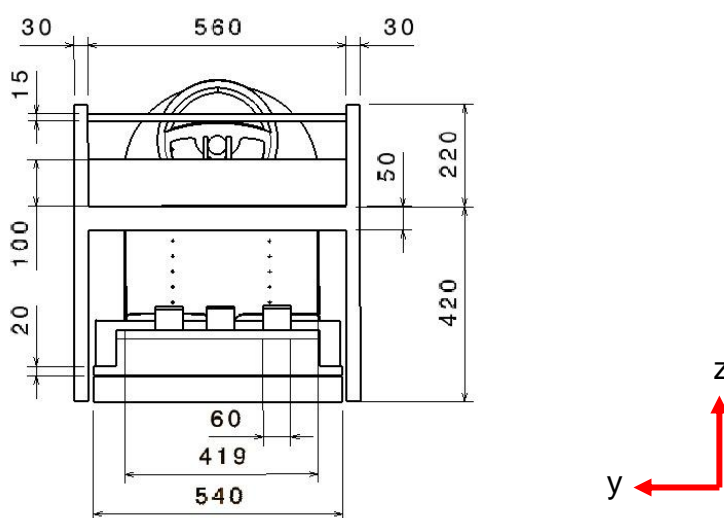


Figura 42 - Cotas da bancada finalizada, vista frontal (Fonte: Autores, 2017).

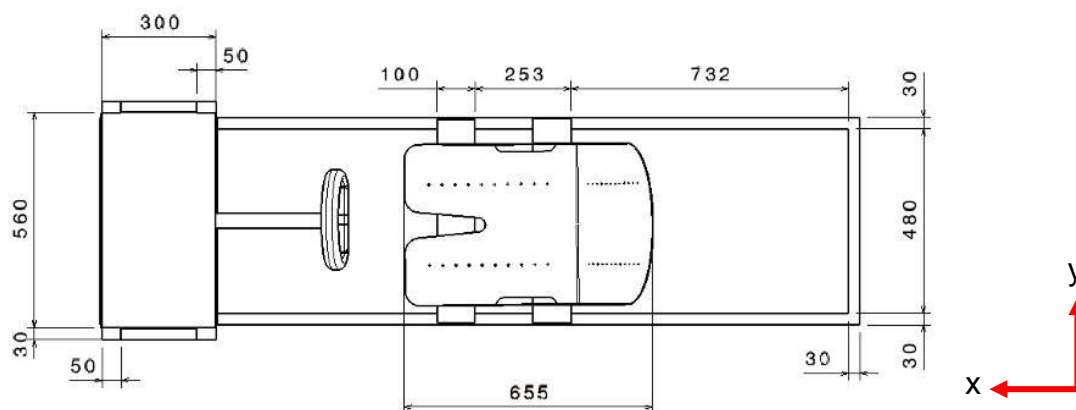


Figura 43 - Cotas da bancada finalizada, vista superior (Fonte: Autores, 2017).

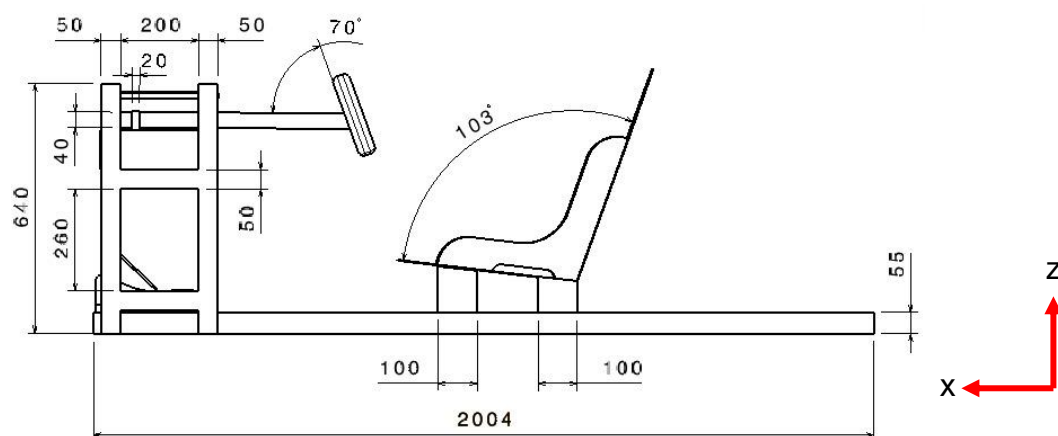


Figura 44 - Cotas da bancada finalizada, vista lateral (Fonte: Autores, 2017).

3.2.2 Software de simulação veicular baseado no Unity 3D®

A plataforma *Unity 3D*, da *Unity Technologies*, permite ao desenvolvedor de *software* criar, em uma só plataforma, todo o ambiente e as físicas atreladas ao jogo/simulador. Com a programação de scripts é possível otimizar e criar elementos como, por exemplo, a física de um automóvel. Compreende-se como a física do automóvel, a simulação de seu funcionamento em relação ao desempenho, com inclusão de equações para cálculo de relação de marcha, potência, aerodinâmica, efeito da gravidade e acelerações, como também, a sua aparência e interatividade, dentro do ambiente do simulador.

Além da inclusão de um automóvel é possível criar o ambiente onde a simulação acontece, com rodovias, obstáculos, interativos ou não, também com toda a física e reações com o automóvel, muito similar ao real. Isso torna a plataforma

Unity 3D[®], uma excelente ferramenta para o desenvolvimento de simuladores veiculares com características e elementos totalmente abertos e possíveis de se programar e reprogramar de acordo com as necessidades do desenvolvedor.

Para se desenvolver um jogo/simulador, deve-se definir o seu roteiro. A partir desse roteiro, definem-se as necessidades de modelagem e jogabilidade que serão desenvolvidas e programadas para atender ao roteiro criado.

3.2.2.1 Simulador

Vários passos foram seguidos até chegar ao jogo pronto. Foram utilizados outros *softwares* adicionais, importantes para a criação do simulador. O primeiro passo foi exportar o veículo do Catia em dois formatos (IGES, para modelo de superfícies e STL para malha poligonal), Em seguida, o programa *Autodesk DirectConnect* faz a conexão da superfície e da malha poligonal, e o *Autodesk Maya* faz a manipulação e limpeza de malhas e exporta a cena para o *Unity* dentro de um arquivo FBX que o *Unity* interpreta. Enquanto isso é necessária a criação da conta no *Bing Maps* para conseguir a chave de acesso. Para extrair os dados de mapa e de relevo e imagens de satélite do mundo real é utilizado o *software WorldComposer*, que foi comprado. Feito isso o *Unity* está pronto para receber o pacote pago do simulador de física do carro (MoDyEn). A estrutura básica do carro é criada, e os dados do Fórmula são inseridos. A demarcação da pista com barreiras e linha de largada é feita pelo *software Easy Roads 3D*. O jogo e seu executável é, então, construído, e após a calibragem do Conjunto G27 o simulador está pronto. Todo esse procedimento descrito acima para a criação do jogo é mostrado no fluxograma da Figura (45) abaixo.

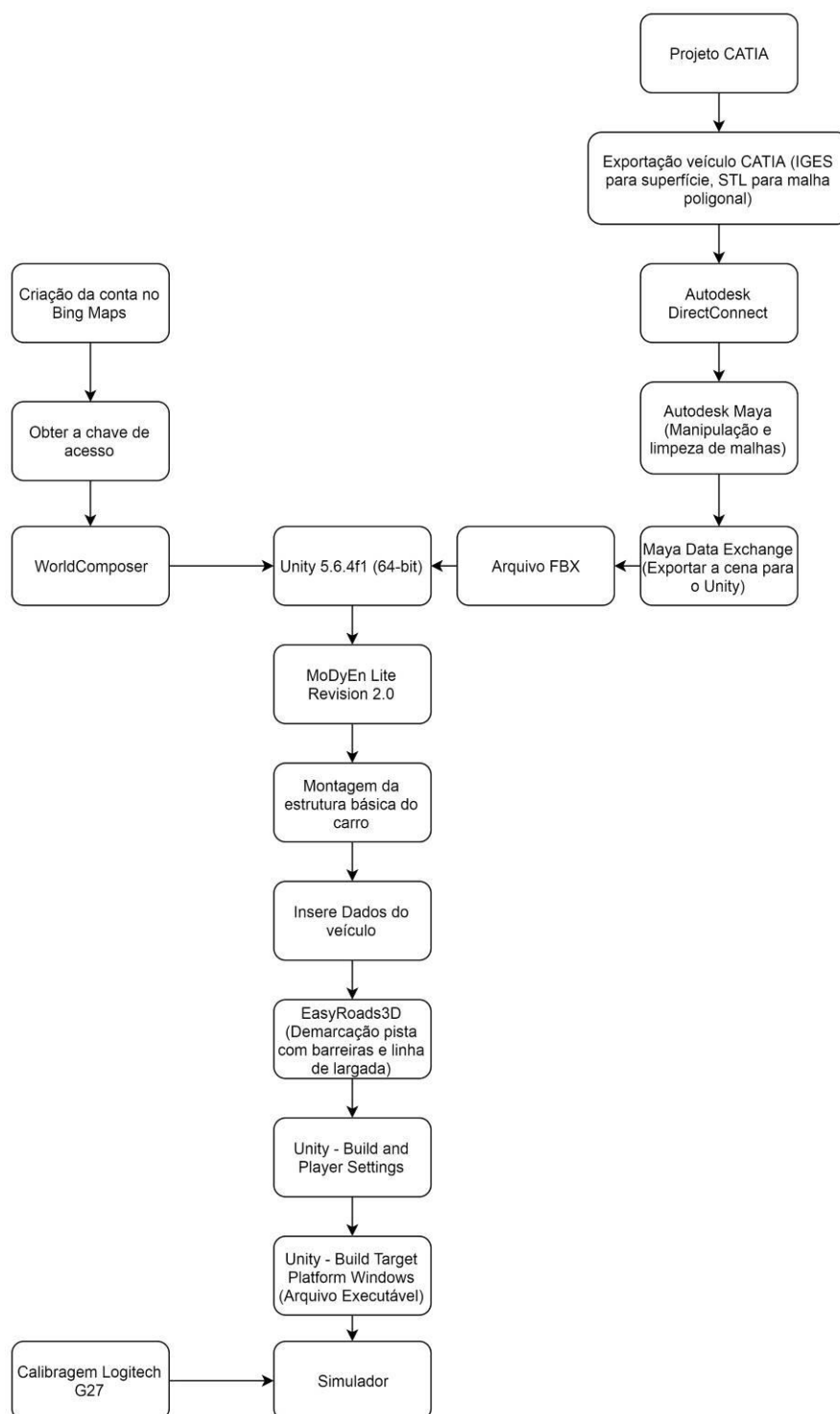


Figura 45 - Fluxograma para criação do simulador (Fonte: Autores, 2017).

3.2.2.1 Cenário

O cenário é o autódromo no Esporte Clube Piracicabano de Automobilismo (ECPA), localizado em Piracicaba-SP, que conta com um traçado de 2100 metros de sentido horário e elevado nível técnico, o circuito possui 9 curvas e 4 retas, tendo

subidas e descidas. (Figura (46)). A estrada e o cenário foram capturados do mapa. A modelagem do traçado foi feita de acordo com a topologia da estrada levando em conta os aclives e declives, conforme o trecho real de traçado. Na Figura (47) também é possível ver onde foi definida a largada e onde foi feito o impedimento da pista do circuito com alguns tonéis que foram inseridos no jogo.

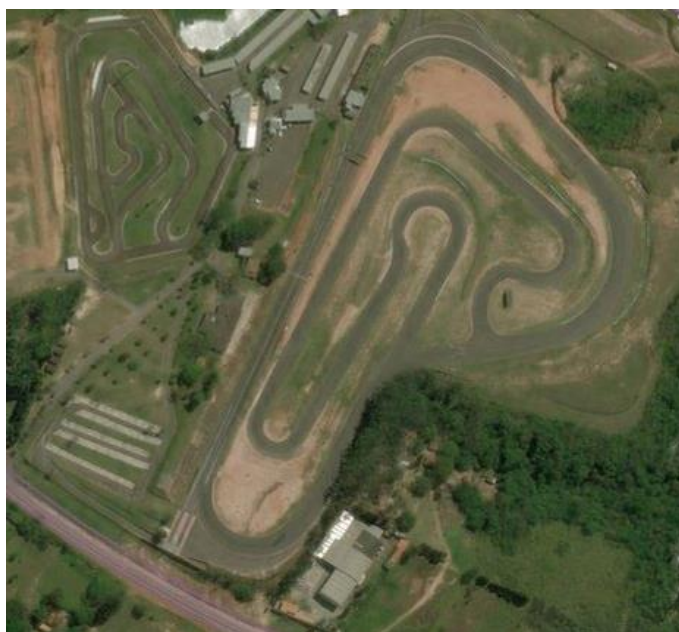


Figura 46 - Vista geral do traçado usada para a criação do cenário. (Fonte: Bing Maps, 2017).



Figura 47 – Vista superior do traçado da pista no *Unity 3D*

3.2.2.2 Veículo

O veículo simulado é o Fórmula E02, de segunda geração e modelo 2017, Figura (48). A escolha do veículo foi motivada pelo fato de que a equipe de competição da Universidade ainda não possui um simulador para testes. As especificações e dimensões técnicas do carro podem ser vistas na Tabela (5).

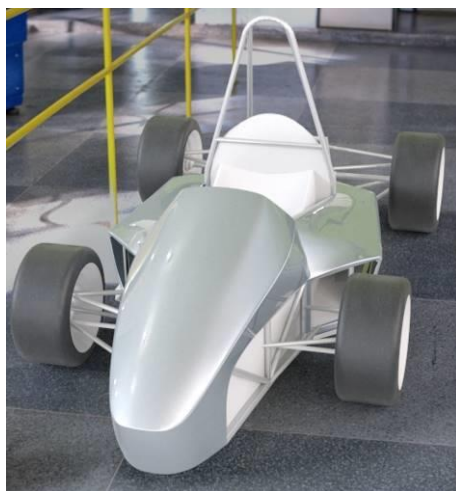


Figura 48 - Fórmula FGR E02 modelo 2017

Tabela 5 - Especificações Técnicas do Fórmula FGR E02 modelo 2017.

Peso veículo vazio	250 kg
Estruturas	
Estrutura Tubular	Aço SAE 1020
Comprimento (mm)	2350
Largura (mm)	1250
Altura (mm)	1250
Desempenho	
velocidade máx carro [km/h]	46,76
TEMPO	4,08
Dinâmica Veicular	
Bandeja Duplo A	
Amortecedor e mola	
Rocker arm	
Sistema push road	
Transmissão	
Sistema de corrente de rolos	
Diferencial aberto lubrificado	
Tração	Traseira
Freios	
Disco refrigerado a ar	
Pinças de pistão duplo	
Sistema hidráulico com cilindro e pistão	
Power Train	
Peso motor [kg]	17

Velocidade angular motor [rad/s]	458,44
Rotação roda (rpm)	486,67
Velocidade angular da roda [rad/s]	50,94
Torque na roda	381,6
Raio da roda[m]	0,255
Força de tração na roda[N]	461,92
Potência nominal [Kw]	6
potência máx [Kw]	20
Rotação nominal	4400
Rotação max	9000
Tensão nominal [VVca]	51
Corrente nominal [A]	118
Fator de serviço	1
Categoria	N
Grau de proteção	IP55
Torque nominal [Nm]	13
Torque máximo [Nm]	42,4
Resfriamento	AR

Sua modelagem no simulador inclui o exterior e interior do veículo e possui câmeras posicionadas para a visão externa e de primeira pessoa, vide Figura (49).



Figura 49 - Imagem da câmera principal do software de simulação com o cockpit do Fórmula FGR E02 (Fonte: Autores).

3.2.2.3 Especificações e Desempenho do Fórmula no simulador

A simulação da dinâmica veicular é realizada pelo script programável “*CarDynamics*” dentro do ambiente *Unity 3D*, oriundo do pacote de programação do *MoDyEn*.

O script “*CarDynamics*” leva em consideração os dados principais de peso, coeficiente aerodinâmico, potência máxima, relação de marchas, etc. Tais itens podem ser ajustados no script (Figura (50)). Esses dados também podem ser ajustados no programa, como mostram as Figura (51) à (56). São seis janelas com diversos ajustes, onde o usuário tem a possibilidade de inserir os dados do veículo de acordo com as suas especificações. O script “*CarDynamics*” foi ajustado para os dados técnicos do veículo da equipe, sendo que os parâmetros possíveis de ajuste, são:

- Ajuste de motor (Figura 51);
- Ajuste de transmissão (Figura 52);
- Ajuste de suspensão e pneus (Figura 53);
- Ajuste de freios (Figura 54);
- Ajuste gerais de carroceria (Figura 55) e
- Ajuste Aerodinâmicos (Figura 56).

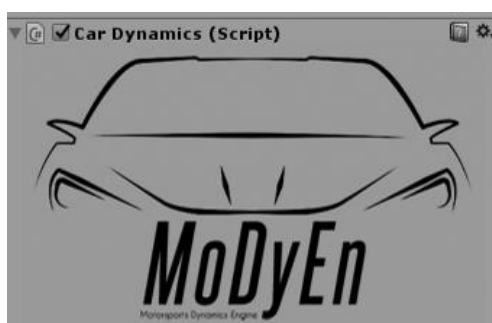
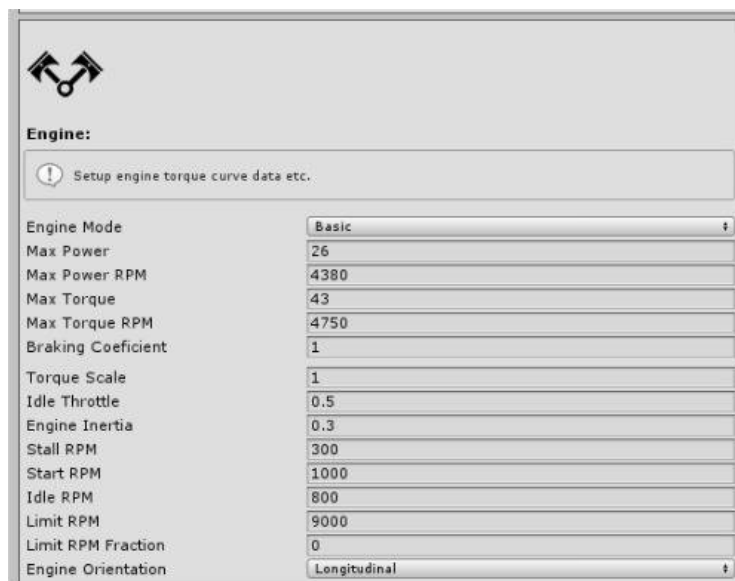


Figura 50 – Script *CarDynamics* (Fonte: Autores, 2017).

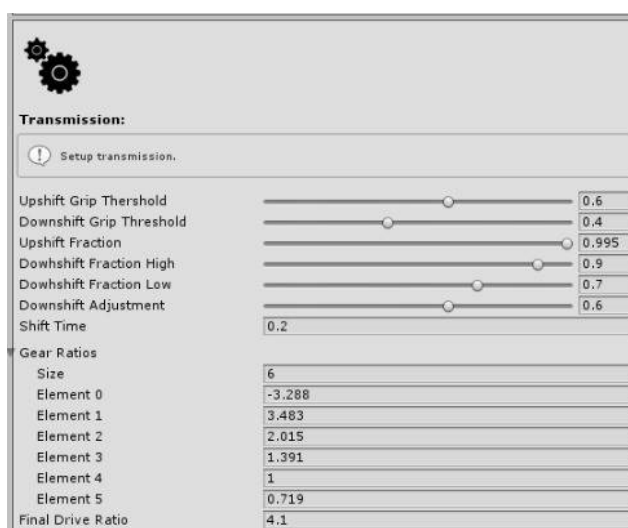


Engine:

! Setup engine torque curve data etc.

Engine Mode	Basic
Max Power	26
Max Power RPM	4380
Max Torque	43
Max Torque RPM	4750
Braking Coefficient	1
Torque Scale	1
Idle Throttle	0.5
Engine Inertia	0.3
Stall RPM	300
Start RPM	1000
Idle RPM	800
Limit RPM	9000
Limit RPM Fraction	0
Engine Orientation	Longitudinal

Figura 51- Ajuste do motor (Fonte: Autores, 2017).



Transmission:

! Setup transmission.

Upshift Grip Threshold	0.6
Downshift Grip Threshold	0.4
Upshift Fraction	0.995
Downshift Fraction High	0.9
Downshift Fraction Low	0.7
Downshift Adjustment	0.6
Shift Time	0.2
Gear Ratios	
Size	6
Element 0	-3.288
Element 1	3.483
Element 2	2.015
Element 3	1.391
Element 4	1
Element 5	0.719
Final Drive Ratio	4.1

Figura 52- Ajuste de transmissão (Fonte: Autores, 2017).

Wheels:

! Setup wheels

Front Rear

Height Offset 0

Wheels

General

Max Steer 30

Radius 0.255

Inertia 1.5

Mass 20

Rolling Resistance 0.015

Friction Tq 10

Alignment

Offset -0.1

Ackerman 1.2

Camber 0

Toe 0

Caster 0

Suspension

Bumpstop Distance 0

Bumpstop K 129000

Bumpstop Damper 1050

Suspension Length 0.2

Suspension Height 0.1

Bump Stage 2 0.05

Rebound Stage 2 0.05

Packers 0

Antiroll K 20000

Spring K 40000

Slow Bump 2000

Fast Bump 1500

Slow Rebound 4000

Fast Rebound 2000

Brake

Brake Tq 2000

Toggles & Misc

Use Dynamic Camber ☐

Hinge Anchor X 0 Y 0 Z 0

Use Custom Friction Setting ☐

Friction

Figura 53- Ajuste de suspensão e pneus (Fonte: Autores, 2017).

Brakes:

! Setup brakes

Brake Rear Range 0.5

50% / 50%

Brake Pressure 1

Brake Pressure 100%

Handbrake Pressure 1

Handbrake Pressure 100%

Figura 54- Ajuste de freios (Fonte: Autores, 2017).

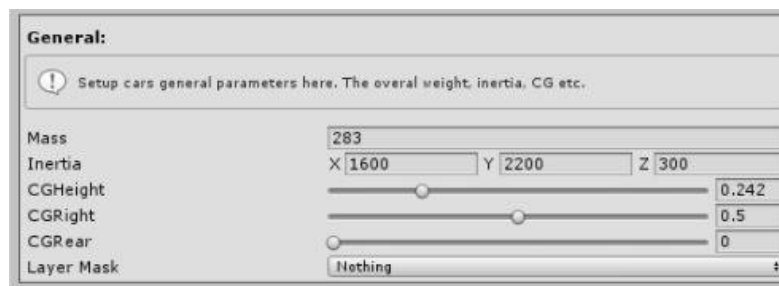


Figura 55 – Ajustes gerais de carroceria (Fonte: Autores, 2017).

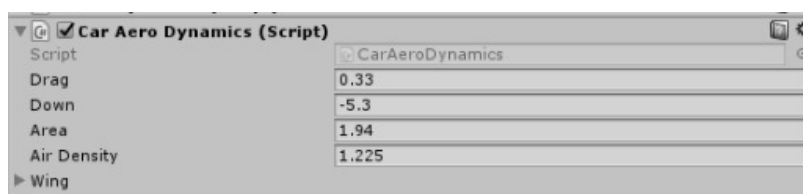


Figura 56 - Ajustes Aerodinâmicos (Fonte: Autores, 2017).

3.2.3 Lab Pro

O local para realização da simulação foi o Lab Pro (Laboratório de Prototipagem do Galpão da Unb Gama). Nele, todo aparato foi montado.

3.2.4 Participação dos Voluntários

A participação dos voluntários foi através de:

- Avaliação antropométrica;
- Avaliação usando um questionário subjetivo com o intuito de obter informações sobre o seu estado emocional no momento anterior e posterior ao experimento e a sua percepção sobre o experimento em si.
- Realização dos experimentos no simulador veicular;

3.2.5 Protocolo de ensaios

O protocolo de ensaio experimental seguiu as seguintes etapas:

1. Gerais/Legais:

Explicação sobre o funcionamento do simulador e aplicação do TC, Termo de Compromisso (Apêndice A)

2. Avaliação subjetiva:

Preenchimento do questionário antropométrico por parte dos avaliadores e da primeira etapa do questionário subjetivo respondida pelos voluntários, avaliando o seu estado emocional naquele instante e sua experiência em direção e simulação veicular;

3. Ensaio com a simulação:

Inicialmente foi feito o ajuste do alcance dos pedais na bancada para cada tipo corporal. Vale lembrar que para estas simulações o único tipo de ajuste da bancada foi nos pedais, pois os outros itens (volante e banco) estavam fixos.

Em seguida, foram dadas as informações sobre o percurso que eles iriam fazer, das duas voltas que deveriam completar, e que a simulação se encerraria caso capotasse o veículo e também foi feita uma explicação breve sobre o *force feedback* do volante o seu ângulo de giro. No caso da simulação com os pilotos, a simulação foi filmada para posterior análise de desempenho.

O tempo de simulação variou de voluntário para voluntário, dependendo de diversos fatores, como por exemplo, velocidade, se saiu da pista ou não, e quantas vezes saiu, se perdeu a dirigibilidade do veículo, etc;

4. Finalização do ensaio: Preenchimento da segunda parte do questionário subjetivo, avaliando a ergonomia do simulador veicular.

Em seguida os dados foram guardados e analisados estatisticamente individualmente.

4 RESULTADOS

4.1 RESULTADOS PRELIMINARES

Os resultados obtidos preliminares são de extrema importância, pois é a partir deles que é definido o dimensionamento para os ajustes corretos da bancada.

Para validar a eficácia ergonômica da plataforma de simulação proposta foi necessário fazer a validação de *Package* do simulador em relação ao veículo Fórmula. Foram usados, para tal, as normas da SAE J1100, J1050 e as diretrizes de projeto automotivo citadas no Capítulo 2.2 deste documento, neste capítulo foi descrito com detalhes os principais temas que abordam o *Package* automotivo.

O programa utilizado de modelamento 3D da bancada e do veículo da equipe FGR foi o CATIA® V5R19 e suas ferramentas características de *Package* do pacote *Human Builder*.

4.1.1 Package da Plataforma de Simulação

Na análise do *Package* do simulador na bancada em relação ao veículo Fórmula, foi definido uma faixa de percentil, essa faixa é definida pelos extremos dos percentis, do Percentil 5% Feminino ao Percentil 95% Masculino, essa faixa é utilizada pelas indústrias automotivas porque possibilita atingir uma porcentagem de 90% da população.

A partir da bancada simulada, foram posicionados e dimensionados três manequins do CATIA® V5R19 e suas respectivas populações, são eles:

- P5% feminino japonês,
- P50% masculino francês e
- P95% masculino americano.

A população que mais se assemelha a população brasileira é a francesa, segundo IIDA (2005), por isso a escolha da Percentil 50% francesa para o arranjo, além de abranger os extremos tipos corporais 5% e 95%. O CATIA® V5R19 disponibiliza os dados básicos dos respectivos Percentis, descritos pela Tabela (6).

Tabela 6 - Dados Antropométricos. (Fonte: CATIA® V5 R19).

Dado Antropométrico	P5% Japonês Feminino	P50% Francês Masculino	P95% Americano Masculino
Estatura (mm)	1501	1745	1866
Peso (kg)	44,0	70,6	96,7

As posições do pé/embreagem, acelerador, volante e assentos foram dispostos para cada manequim. Sendo possível a verificação de cada *Package*. A Figura (57), (58) e (59) são vistas isométricas que descrevem o posicionamento dos manequins, na posição sentados como motoristas de acordo com as normas da SAE para condutores automotivos.

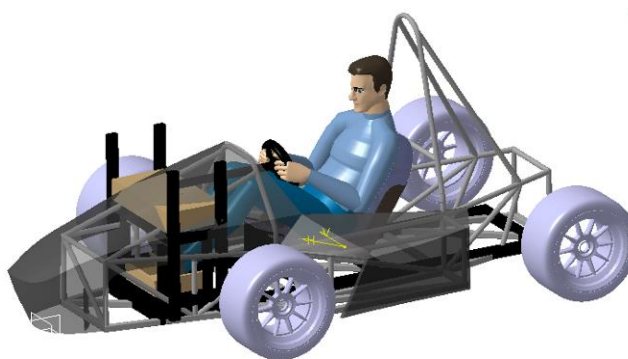


Figura 57 - Posicionamento P95%- comparativo do simulador (em preto) com relação ao Fórmula (em cinza). (Fonte: Autores, 2017).

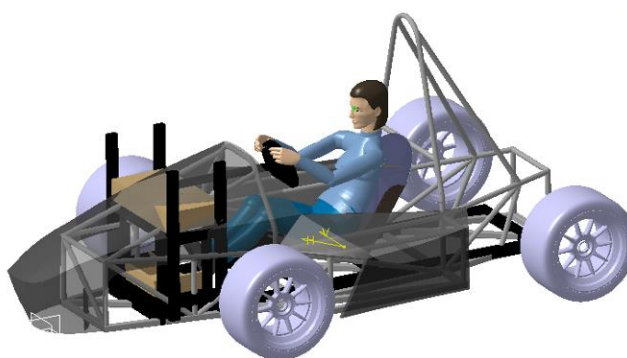


Figura 58 - Posicionamento P5%- comparativo do simulador (em preto) com relação ao Fórmula (em cinza). (Fonte: Autores, 2017).

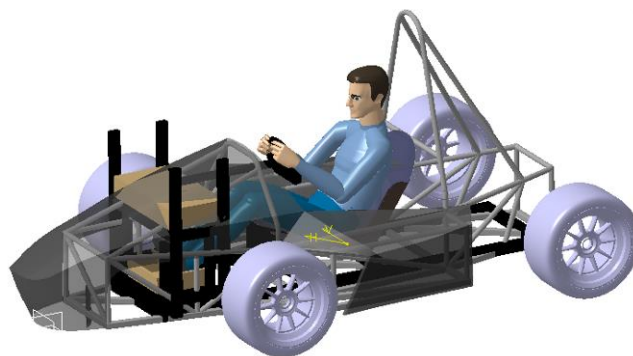


Figura 59 - Posicionamento P50%- comparativo do simulador (em preto) com relação ao Fórmula (em cinza). (Fonte: Autores, 2017).

Para cada manequim foi definido um *Package*, de acordo a norma SAE J1100. Os arranjos dos dados das cotas de referência do CATIA® estão descritos nas Figuras (60) à Figura (71) e na Tabela (7), que descrevem os valores e as unidades necessárias que os manequins precisam possuir para os posicionamentos corretos de assento, pé/embreagem, volante e acelerador.

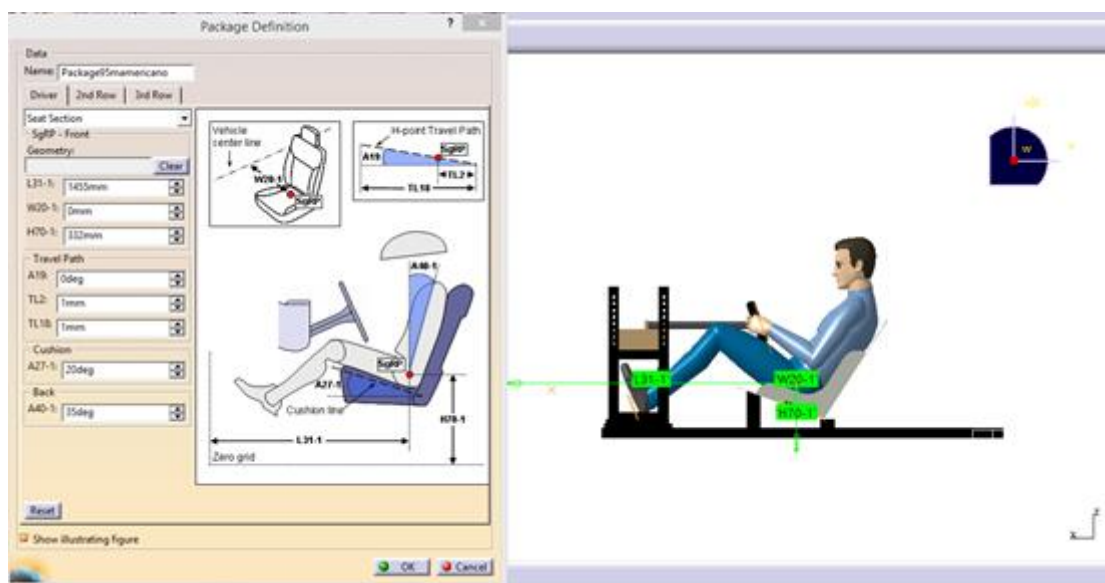


Figura 60 - *Package* posicionamento do assento para o percentil 95% Masculino (Fonte: Autores, 2017).

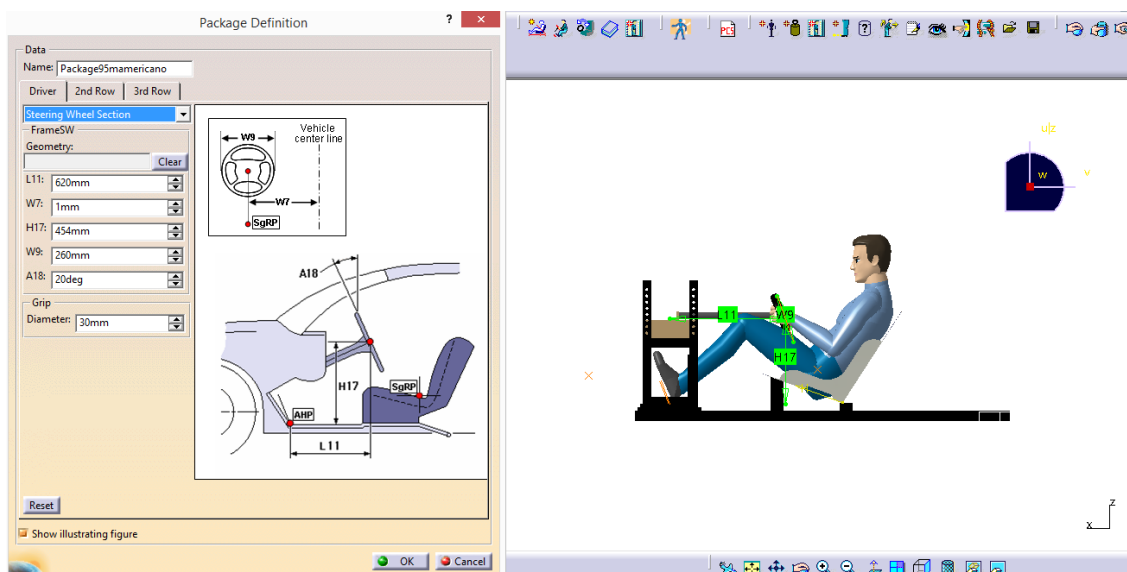


Figura 61 - *Package* posicionamento do volante para o percentil 95% Masculino (Fonte: Autores, 2017).

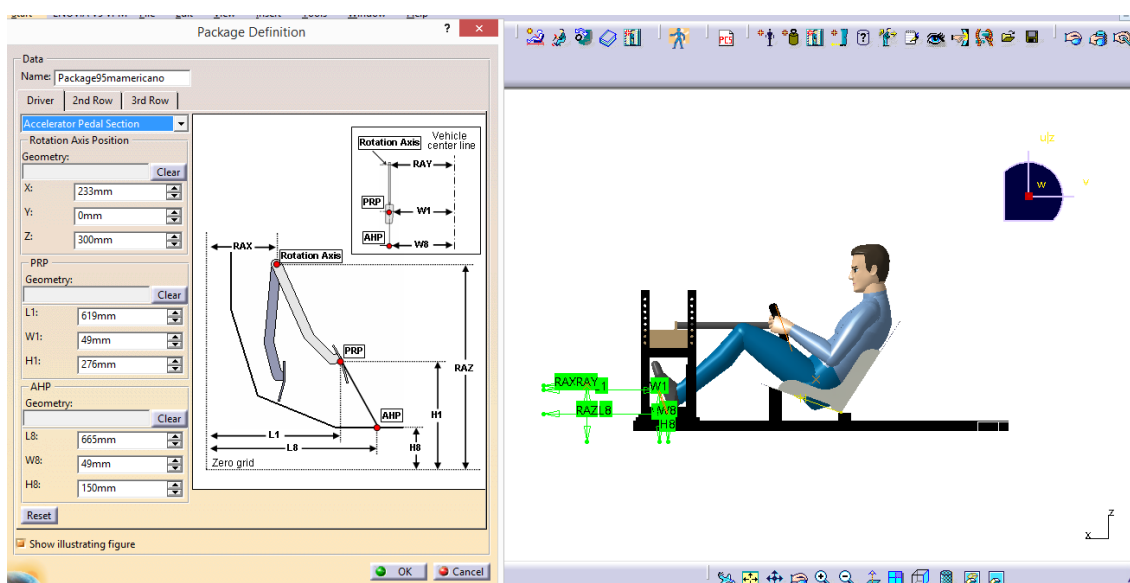


Figura 62 - *Package* posicionamento do acelerador para o percentil 95% Masculino (Fonte: Autores, 2017).

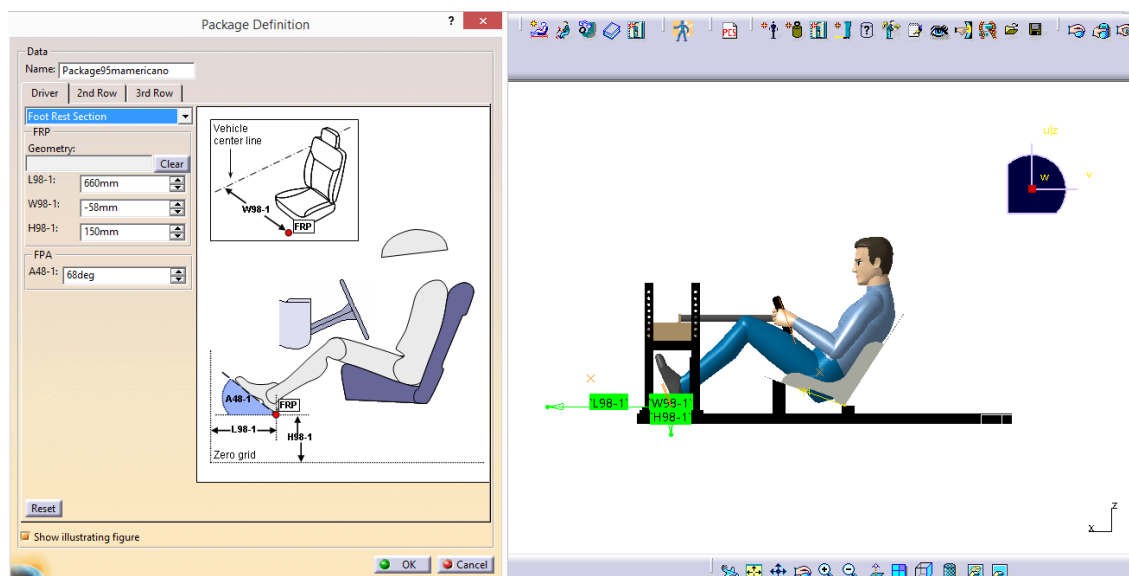


Figura 63 - *Package* do posicionamento do apoio de pé/embreagem para o percentil 95% masculino americano (Fonte: autores, 2017).

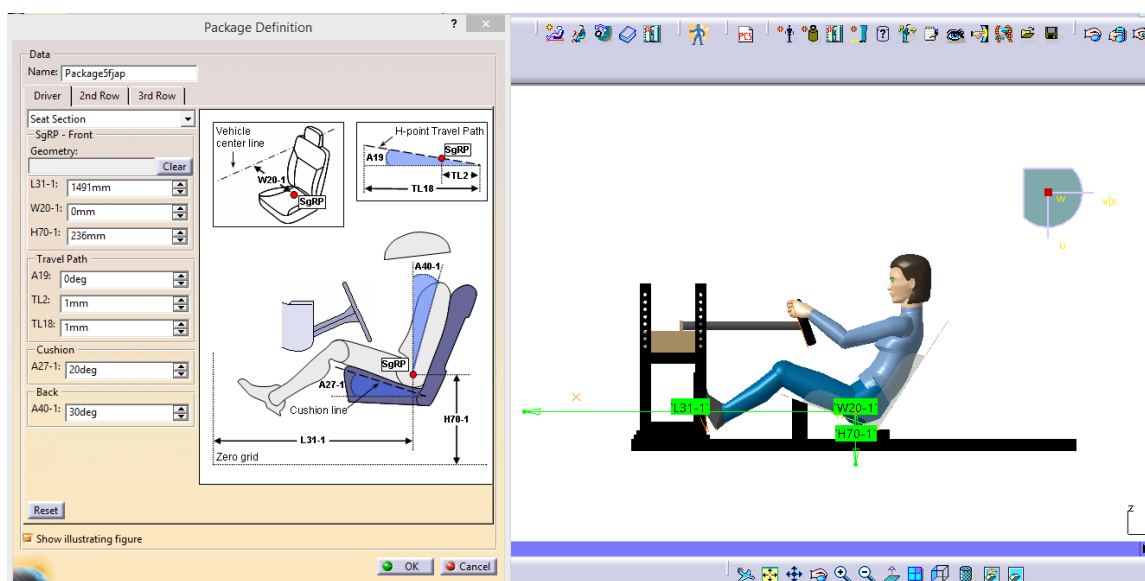


Figura 64 - *Package* do posicionamento do assento para o percentil 5% Feminino (Fonte: Autores, 2017).

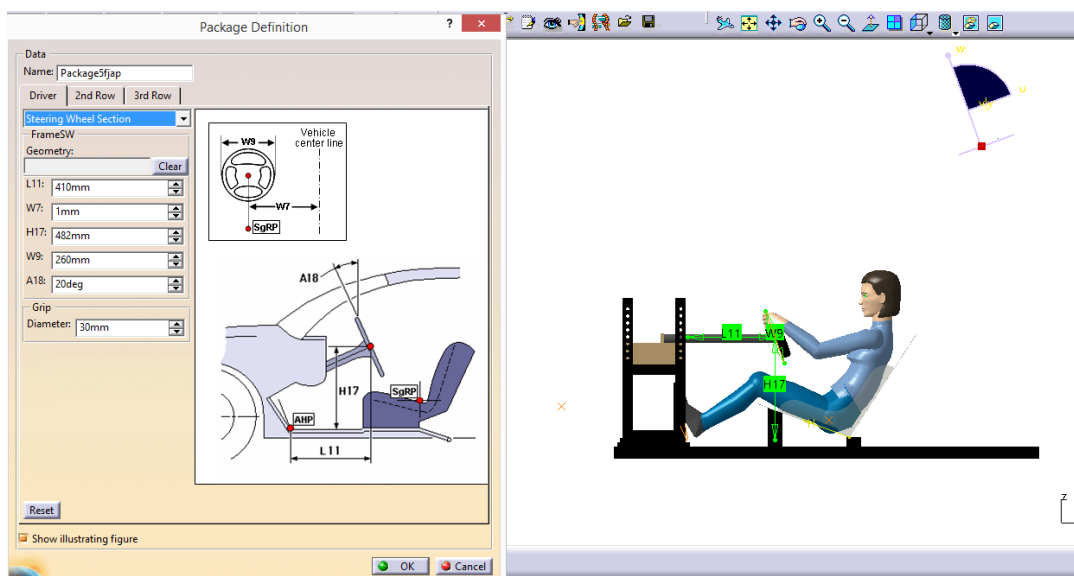


Figura 65 - *Package* do posicionamento do volante para o percentil 5% Feminino (Fonte: Autores, 2017).

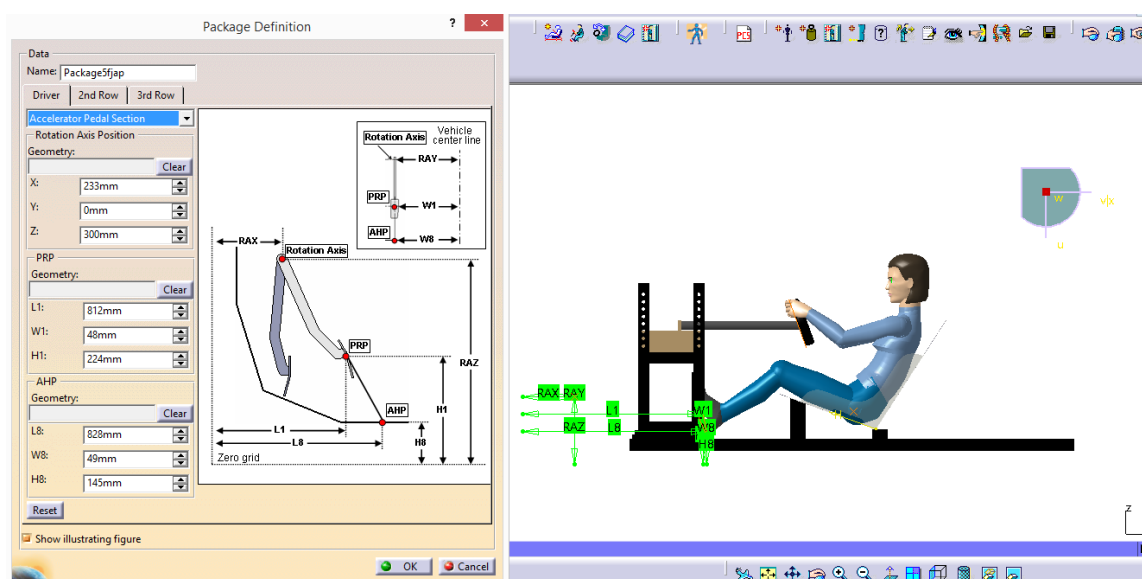


Figura 66 - *Package* do posicionamento do pedal do acelerador para o percentil 5% Feminino (Fonte: Autores, 2017).

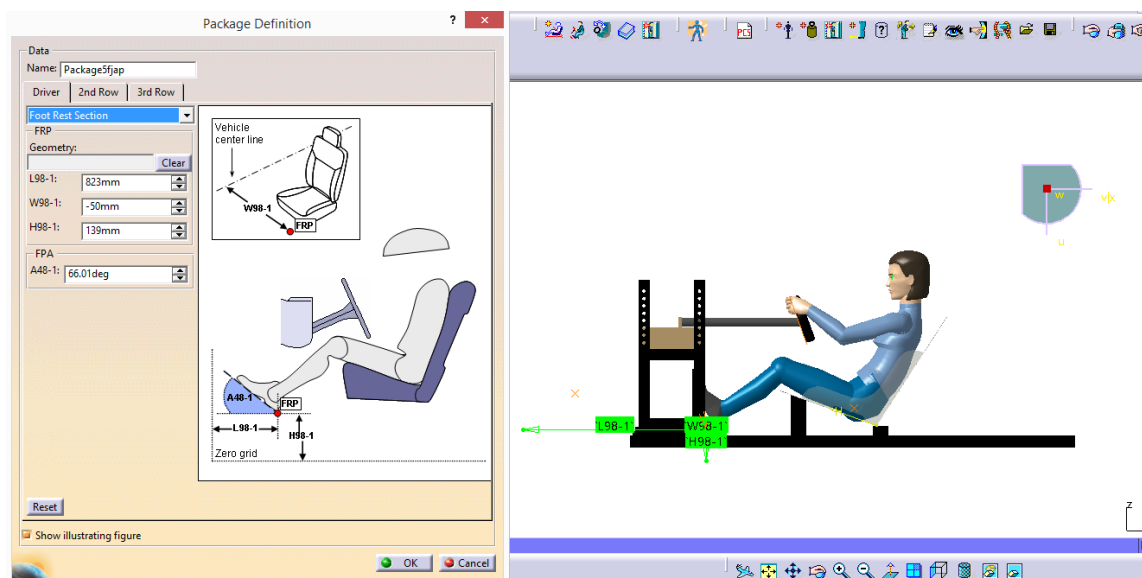


Figura 67 - *Package* do posicionamento do apoio de pé/embreagem para o percentil 5% Feminino (Fonte: Autores, 2017).

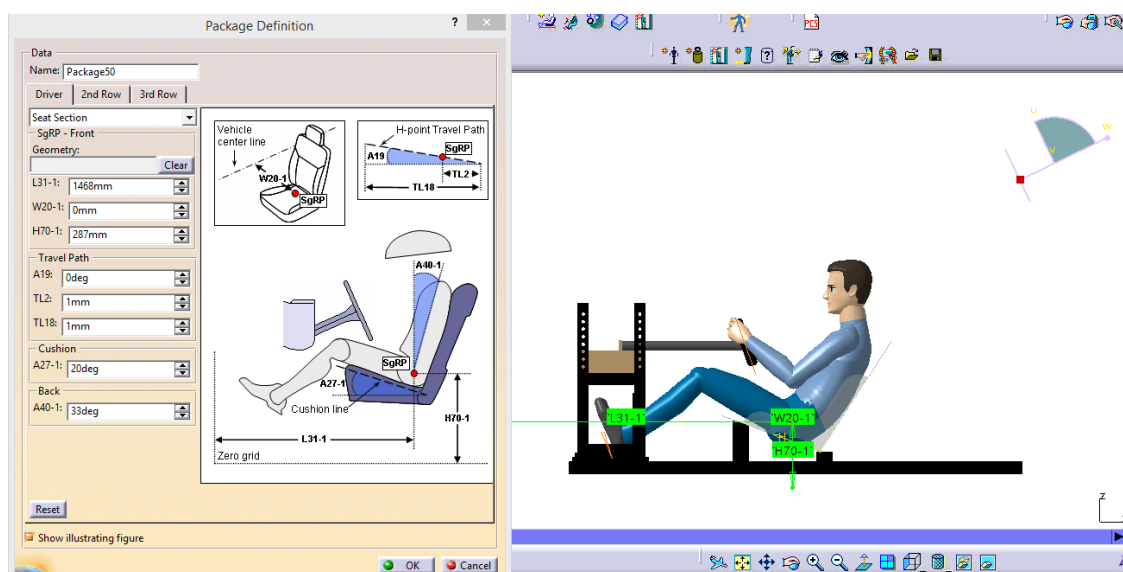


Figura 68 - *Package* do posicionamento do assento para o percentil 50% Masculino (Fonte: Autores, 2017).

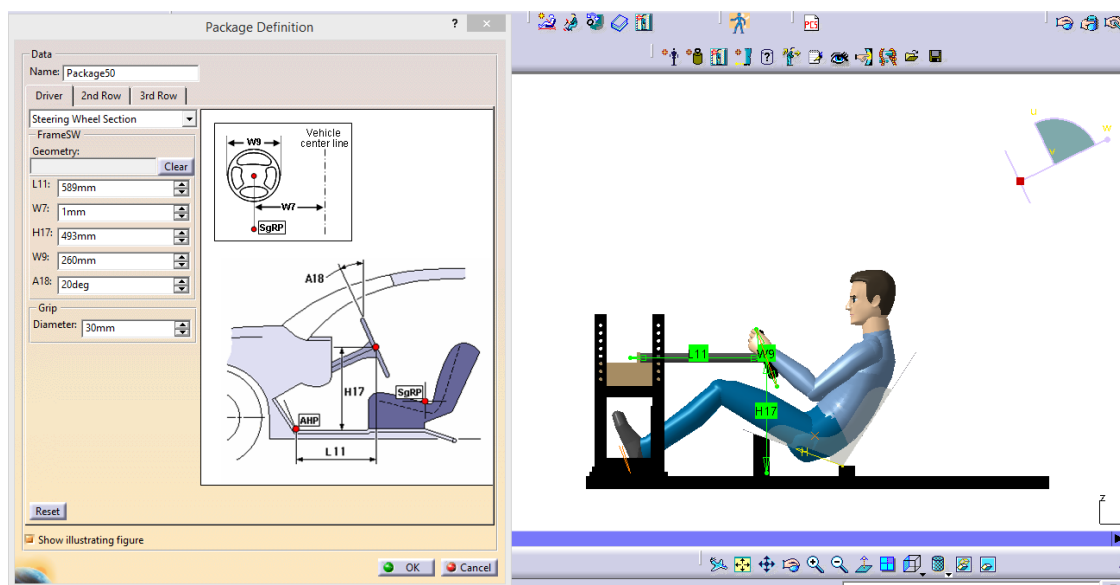


Figura 69 - *Package* do posicionamento do volante para o percentil 50% Masculino (Fonte: Autores, 2017).

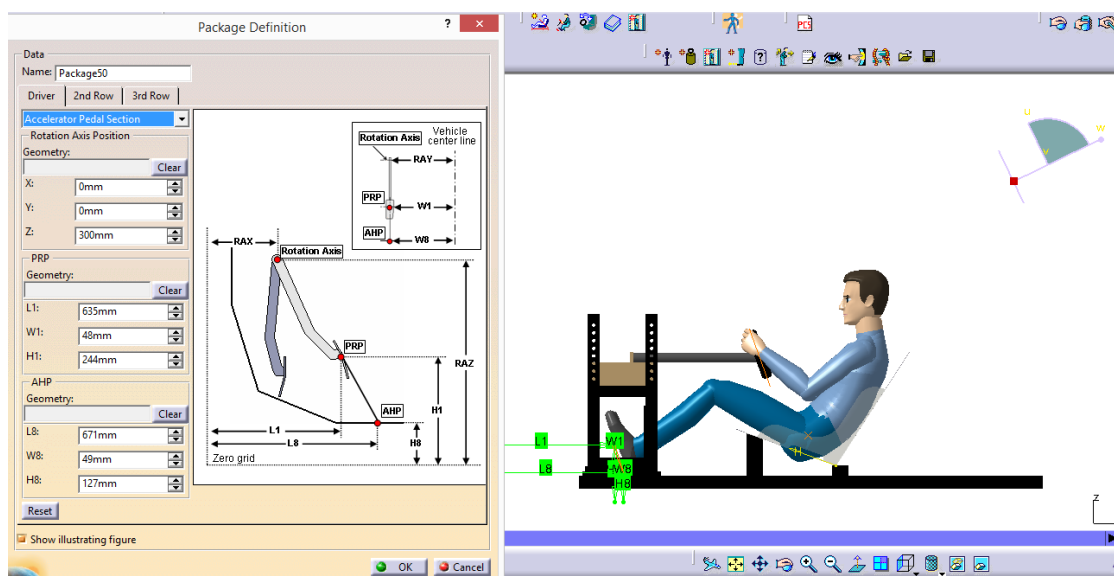


Figura 70 - *Package* posicionamento do acelerador para o percentil 50% Masculino (Fonte: Autores, 2017).

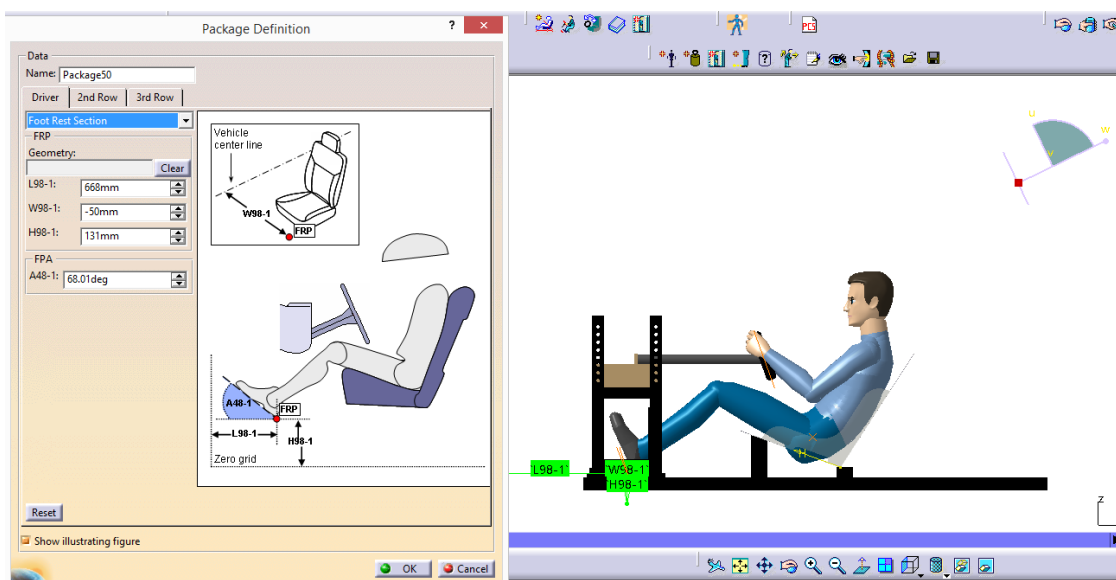


Figura 71 - *Package* posicionamento do pé/embreagem para o percentil 50% Masculino (Fonte: Autores, 2017).

Tabela 7 - Cotagem para os *Packages* de acordo com a norma SAEJ1100 (Fonte: Autores, 2017).

Nomenclatura	Medida P5%	Medida P50%	Medida P95%
Assento			
L31-1(mm)	1491	1468	1455
W20-1(mm)	0	0	0
H70-1(mm)	236	287	332
A19(graus)	0	0	0
TL2(mm)	1	1	1
TL18(mm)	1	1	1
A27-1(graus)	20	20	20
A40-1(graus)	30	33	35
Volante			
L11(mm)	410	589	620
W7(mm)	1	1	1
H17(mm)	482	493	454
W9(mm)	260	260	260
A18(graus)	20	20	20
Pedal do Acelerador			
RAX(mm)	233	0	233
RAY(mm)	0	0	0
RAZ(mm)	300	0	300
L1(mm)	812	635	619
W1(mm)	48	48	48
H1(mm)	224	224	276
L8(mm)	828	671	665
W8(mm)	49	49	49
H8(mm)	145	127	150
Descanso do pé			
L98-1(mm)	823	668	660
W98-1(mm)	-50	-50	-58
H98-1(mm)	139	131	150
A48-1(graus)	66,01	68,01	68

4.1.2 Análise de Visão Interna e Externa

Para o completo estudo dos *Packages*, é necessário que as visões internas e externas sejam verificadas. A visão do condutor não pode ser obstruída, no caso o volante não pode impedir a projeção da imagem binocular que o *software CATIA® V5R19* oferece para análise. O motorista tem que ter uma visão clara do painel e a frente do carro (capô).

De acordo com as análises realizadas no *CATIA® V5R19*, nenhuma das vistas projetadas possui obstrução, do Percentil 5% Feminino ao Percentil 95% Masculino foi realizado pequenas adaptações do aro ao do corpo do volante, uma diferença pequena de 39 mm, como descrito nas cotas da Tabela (7). (Figura (72), (73) e (74)).

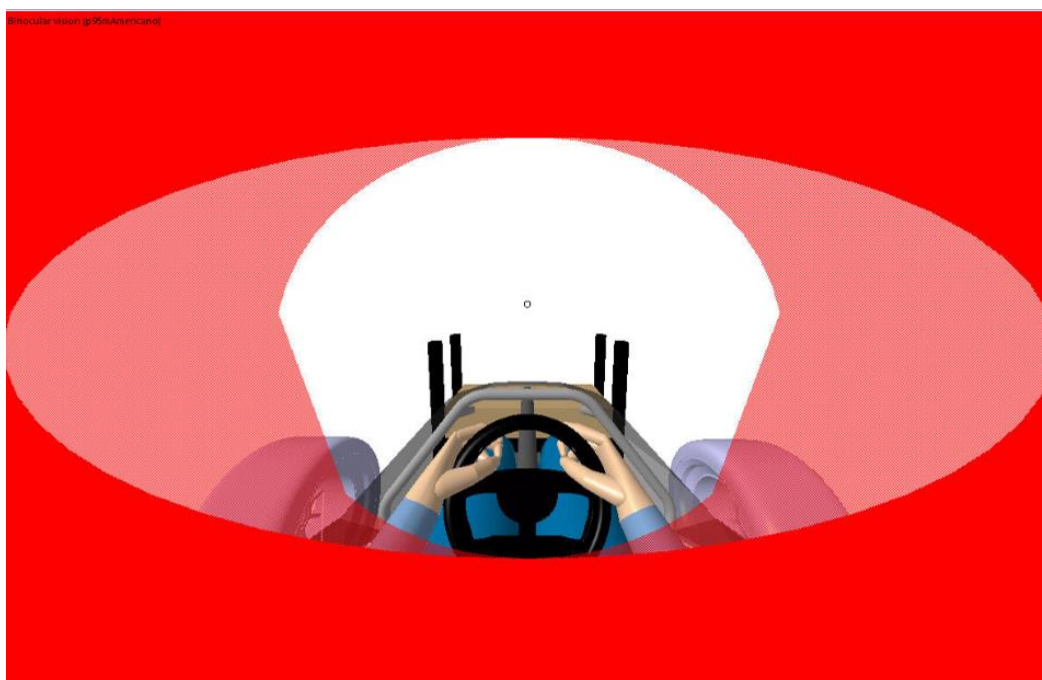


Figura 72 - Visão do ponto de vista manequim Masculino Percentil 95%, que está dentro da bancada que está dentro do veículo como forma de comparação (Fonte: Autores, 2017).



Figura 73 - Visão do ponto de vista manequim Feminino Percentil 5%, que está dentro da bancada que está dentro do veículo como forma de comparação (Fonte: Autores, 2017).

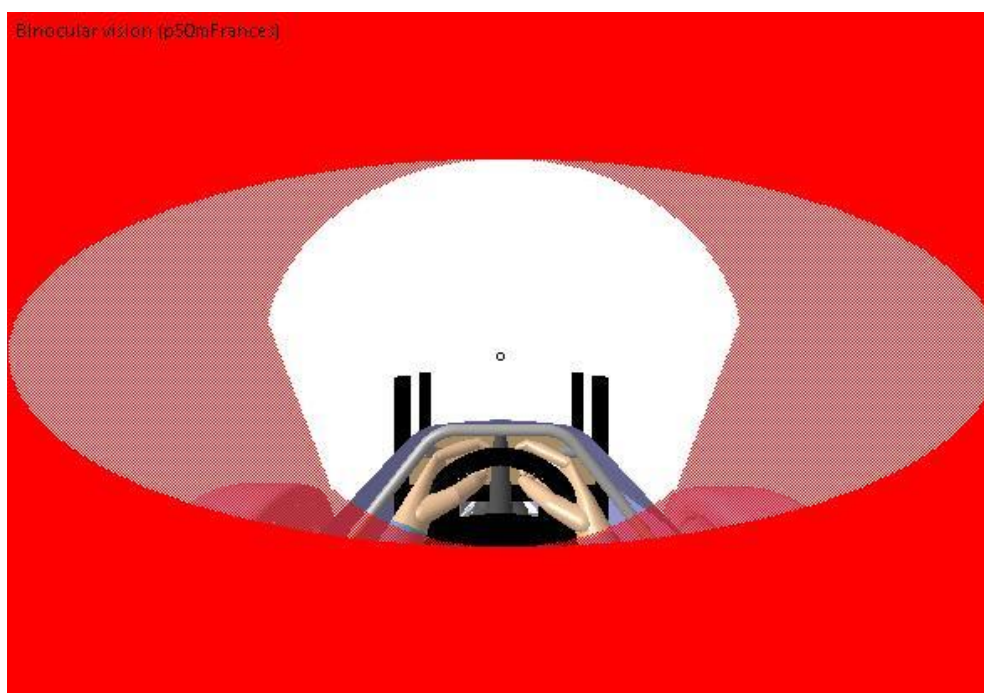


Figura 74 - Visão do ponto de vista manequim Masculino Percentil 50%, que está dentro da bancada que está dentro do veículo como forma de comparação (Fonte: Autores, 2017).

A visão do piloto dentro da simulação é a mesma, pelas análises realizadas no CATIA® V5R19 da bancada final inserida dentro do veículo modelado, como é descrita na Figura 75.

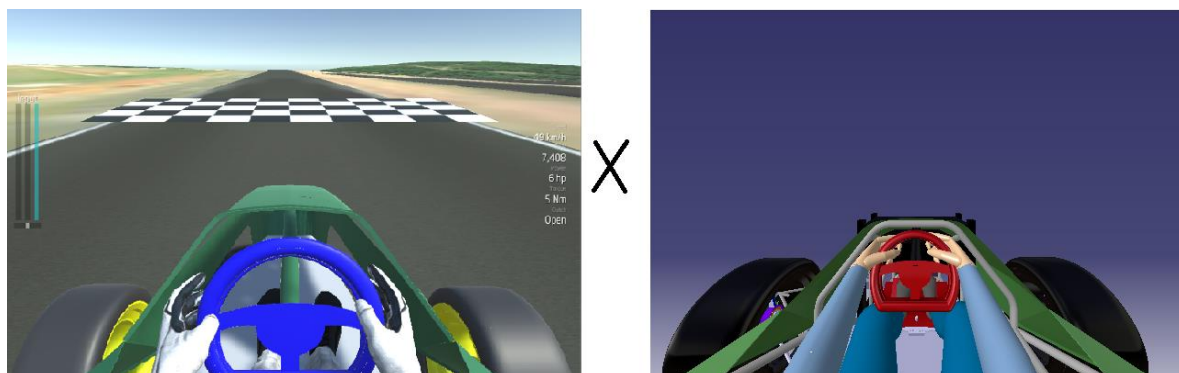


Figura 75 – Comparação entre as visões do piloto no jogo e a visão do manequim que está dentro da bancada que está dentro do veículo no ambiente do CATIA® V5R19 (Fonte: Autores, 2017).

4.1.3 Análise RULA

Análise RULA (*Rapid Upper Limb Assessment*) permite mais um estudo. Verificar o conforto prévio do motorista, mais uma ferramenta oferecida pelo software CATIA® V5R19 que através dos ângulos entre os segmentos corporais pontua estes segmentos de 0 a 10. A descrição destes parâmetros e suas pontuações estão descritos nas Figuras (76), (77) e (78).

Ergonomic Analysis	
RULA Parameters	
Shoulder elevation threshold:	9.253deg
Upper arm abduction threshold:	17.959deg
Arm rotation threshold:	20.602deg
Wrist deviation threshold:	8.6deg
Wrist twist threshold:	152deg
Neck twist threshold:	38.325deg
Neck side-bending threshold:	5.25deg
Trunk twist threshold:	1.05deg
Trunk side-bending threshold:	0.788deg

Figura 76 - Parâmetros do RULA no CATIA® (Manual DDS CATIA® V5R19, 2013).

RULA Employee Assessment Worksheet

Complete this worksheet following the step-by-step procedure below. Keep a copy in the employee's personnel folder for future reference.

A. Arm & Wrist Analysis

Step 1: Locate Upper Arm Position

Step 1a: Adjust...

If shoulder is raised: +1
If upper arm is abducted: +1
If arm is supported or person is leaning: -1

Final Upper Arm Score =

Step 2: Locate Lower Arm Position

Step 2a: Adjust...

If arm is working across midline of the body: +1
If arm out to side of body: +1

Final Lower Arm Score =

Step 3: Locate Wrist Position

Step 3a: Adjust...

If wrist is bent from the midline: +1

Final Wrist Score =

Step 4: Wrist Twist

If wrist is twisted mainly in mid-range: +1
If twist at or near end of twisting range: +2

Wrist Twist Score =

Step 5: Look-up Posture Score in Table A

Use values from steps 1, 2, 3 & 4 to locate Posture Score in table A.

Posture Score A =

Step 6: Add Muscle Use Score

If posture mainly static (i.e. held for longer than 1 minute) or:
If action repeatedly occurs 4 times per minute or more: +1

Muscle Use Score =

Step 7: Add Force/load Score

If load less than 2 kg (intermittent): +0
If 2 kg to 10 kg (intermittent): +1
If 2 kg to 10 kg (static or repeated): +2
If more than 10 kg load or repeated or shocks: +3

Force/load Score =

Step 8: Find Row in Table C

The completed score from the Arm/Wrist analysis is used to find the row on Table C.

Final Wrist & Arm Score =

SCORES

Table A

Upper Arm	Lower Arm	Wrist	Wrist Twist	Posture Score	Muscle Use	Force/Load
1	1	1	1	1	1	1
2	2	2	2	2	2	2
3	3	3	3	3	3	3
4	4	4	4	4	4	4
5	5	5	5	5	5	5
6	6	6	6	6	6	6
7	7	7	7	7	7	7
8	8	8	8	8	8	8
9	9	9	9	9	9	9
10	10	10	10	10	10	10
11	11	11	11	11	11	11
12	12	12	12	12	12	12
13	13	13	13	13	13	13
14	14	14	14	14	14	14
15	15	15	15	15	15	15
16	16	16	16	16	16	16
17	17	17	17	17	17	17
18	18	18	18	18	18	18
19	19	19	19	19	19	19
20	20	20	20	20	20	20
21	21	21	21	21	21	21
22	22	22	22	22	22	22
23	23	23	23	23	23	23
24	24	24	24	24	24	24
25	25	25	25	25	25	25
26	26	26	26	26	26	26
27	27	27	27	27	27	27
28	28	28	28	28	28	28
29	29	29	29	29	29	29
30	30	30	30	30	30	30
31	31	31	31	31	31	31
32	32	32	32	32	32	32
33	33	33	33	33	33	33
34	34	34	34	34	34	34
35	35	35	35	35	35	35
36	36	36	36	36	36	36
37	37	37	37	37	37	37
38	38	38	38	38	38	38
39	39	39	39	39	39	39
40	40	40	40	40	40	40
41	41	41	41	41	41	41
42	42	42	42	42	42	42
43	43	43	43	43	43	43
44	44	44	44	44	44	44
45	45	45	45	45	45	45
46	46	46	46	46	46	46
47	47	47	47	47	47	47
48	48	48	48	48	48	48
49	49	49	49	49	49	49
50	50	50	50	50	50	50
51	51	51	51	51	51	51
52	52	52	52	52	52	52
53	53	53	53	53	53	53
54	54	54	54	54	54	54
55	55	55	55	55	55	55
56	56	56	56	56	56	56
57	57	57	57	57	57	57
58	58	58	58	58	58	58
59	59	59	59	59	59	59
60	60	60	60	60	60	60
61	61	61	61	61	61	61
62	62	62	62	62	62	62
63	63	63	63	63	63	63
64	64	64	64	64	64	64
65	65	65	65	65	65	65
66	66	66	66	66	66	66
67	67	67	67	67	67	67
68	68	68	68	68	68	68
69	69	69	69	69	69	69
70	70	70	70	70	70	70
71	71	71	71	71	71	71
72	72	72	72	72	72	72
73	73	73	73	73	73	73
74	74	74	74	74	74	74
75	75	75	75	75	75	75
76	76	76	76	76	76	76
77	77	77	77	77	77	77
78	78	78	78	78	78	78
79	79	79	79	79	79	79
80	80	80	80	80	80	80
81	81	81	81	81	81	81
82	82	82	82	82	82	82
83	83	83	83	83	83	83
84	84	84	84	84	84	84
85	85	85	85	85	85	85
86	86	86	86	86	86	86
87	87	87	87	87	87	87
88	88	88	88	88	88	88
89	89	89	89	89	89	89
90	90	90	90	90	90	90
91	91	91	91	91	91	91
92	92	92	92	92	92	92
93	93	93	93	93	93	93
94	94	94	94	94	94	94
95	95	95	95	95	95	95
96	96	96	96	96	96	96
97	97	97	97	97	97	97
98	98	98	98	98	98	98
99	99	99	99	99	99	99
100	100	100	100	100	100	100

Table C

Upper Arm	Lower Arm	Wrist	Wrist Twist	Posture Score	Muscle Use	Force/Load
1	1	1	1	1	1	1
2	2	2	2	2	2	2
3	3	3	3	3	3	3
4	4	4	4	4	4	4
5	5	5	5	5	5	5
6	6	6	6	6	6	6
7	7	7	7	7	7	7
8	8	8	8	8	8	8
9	9	9	9	9	9	9
10	10	10	10	10	10	10
11	11	11	11	11	11	11
12	12	12	12	12	12	12
13	13	13	13	13	13	13
14	14	14	14	14	14	14
15	15	15	15	15	15	15
16	16	16	16	16	16	16
17	17	17	17	17	17	17
18	18	18	18	18	18	18
19	19	19	19	19	19	19
20	20	20	20	20	20	20
21	21	21	21	21	21	21
22	22	22	22	22	22	22
23	23	23	23	23	23	23
24	24	24	24	24	24	24
25	25	25	25	25	25	25
26	26	26	26	26	26	26
27	27	27	27	27	27	27
28	28	28	28	28	28	28
29	29	29	29	29	29	29
30	30	30	30	30	30	30
31	31	31	31	31	31	31
32	32	32	32	32	32	32
33	33	33	33	33	33	33
34	34	34	34	34	34	34
35	35	35	35	35	35	35
36	36	36	36	36	36	36
37	37	37	37	37	37	37
38	38	38	38	38	38	38
39	39	39	39	39	39	39
40	40	40	40	40	40	40
41	41	41	41	41	41	41
42	42	42	42	42	42	42
43	43	43	43	43	43	43
44	44	44	44	44	44	44
45	45	45	45	45	45	45
46	46	46	46	46	46	46
47	47	47	47	47	47	47
48	48	48	48	48	48	48
49	49	49	49	49	49	49
50	50	50	50	50	50	50
51	51	51	51	51	51	51
52	52	52	52	52	52	52
53	53	53	53	53	53	53
54	54	54	54	54	54	54
55	55	55	55	55	55	55
56	56	56	56	56	56	56
57	57	57	57	57	57	57
58	58	58	58	58	58	58
59	59	59	59	59	59	59
60	60	60	60	60	60	60
61	61	61	61	61	61	61
62	62	62	62	62	62	62
63	63	63	63	63	63	63
64	64	64	64	64	64	64
65	65	65	65	65	65	65
66	66	66	66	66	66	66
67	67	67	67	67	67	67
68	68	68	68	68	68	68
69	69	69	69	69	69	69
70	70	70	70	70	70	70
71	71	71	71	71	71	71
72	72	72	72	72	72	72
73	73	73	73	73	73	73
74	74	74	74	74	74	74
75	75	75	75	75	75	75
76	76	76	76	76	76	76
77	77	77	77	77	77	77
78	78	78	78	78	78	78
79	79	79	79			

Os resultados obtidos referentes a análise RULA podem ser vistos abaixo. (Figura (79), (80) e (81)).

RULA Analysis (p95mAmericano)

Side: ☐ Left ☒ Right

Parameters

Posture
☐ Static ☒ Intermittent ☐ Repeated

Repeat Frequency
☒ < 4 Times/min. ☐ > 4 Times/min.

☒ Arm supported/Person leaning
☐ Arms are working across midline
☒ Check balance

Load: 0kg

Score
 Final Score: 6 ■ <<
 Investigate further and change soon

Details

+ Upper Arm:	3	■
+ Forearm:	2	■
+ Wrist:	2	■
+ Wrist Twist:	2	■
Posture A:	4	■
Muscle:	0	■
Force/Load:	0	■
Wrist and Arm:	4	■
+ Neck:	3	■
+ Trunk:	5	■
Leg:	1	■
Posture B:	6	■
Neck, Trunk and Leg:	6	■

Close

Figura 79 - Análise RULA para o manequim percentil 95% Masculino (Fonte: Autores, 2017).

RULA Analysis (p5fJapones)

Side: ☐ Left ☒ Right

Parameters

Posture
☐ Static ☒ Intermittent ☐ Repeated

Repeat Frequency
☒ < 4 Times/min. ☐ > 4 Times/min.

☒ Arm supported/Person leaning
☐ Arms are working across midline
☒ Check balance

Load: 0kg

Score
 Final Score: 7 ■ <<
 Investigate and change immediately

Details

+ Upper Arm:	4	■
+ Forearm:	3	■
+ Wrist:	3	■
+ Wrist Twist:	2	■
Posture A:	5	■
Muscle:	0	■
Force/Load:	0	■
Wrist and Arm:	5	■
+ Neck:	3	■
+ Trunk:	5	■
Leg:	1	■
Posture B:	6	■
Neck, Trunk and Leg:	6	■

Close

Figura 80 - Análise RULA para o manequim percentil 5% Feminino (Fonte: Autores, 2017).

RULA Analysis (p50mFrances)

Side: ☐ Left ☒ Right

Parameters

Posture
☐ Static ☒ Intermittent ☐ Repeated

Repeat Frequency
☒ < 4 Times/min. ☐ > 4 Times/min.

☒ Arm supported/Person leaning
☐ Arms are working across midline
☒ Check balance

Load: 0kg

Score
 Final Score: 7
 Investigate and change immediately

Details

Upper Arm:	4
Forearm:	2
Wrist:	3
Wrist Twist:	2
Posture A:	5
Muscle:	0
Force/Load:	0
Wrist and Arm:	5
Neck:	6
Trunk:	5
Leg:	1
Posture B:	9
Neck, Trunk and Leg:	9

Close

Figura 81 - Análise RULA para o manequim percentil 50% Masculino (Fonte: Autores, 2017).

Os resultados descrevem que os manequins estão desconfortáveis e que medidas deverão ser tomadas para melhorar esta situação. Vale ressaltar que veículos tipo Fórmula não são tão exigentes em relação ao conforto. As análises foram realizadas apenas do lado direito (*Right*), pois o carro da equipe Fórmula FGR analisado é elétrico não possuindo câmbio, sendo desnecessário avaliar os dois lados, já que não possuem diferença entre eles pela ausência de câmbio.

4.2 ANÁLISE DOS QUESTIONÁRIOS

A aplicação dos questionários se deu antes e depois dos ensaios, individualmente com cada voluntário, todos eles possuíam certa experiência, com veículos de passeio, e somente o vol.4 já tinha dirigido um carro elétrico. Todos os dados dos parâmetros antropométricos (Figura (82)) dos voluntários foram utilizados para as análises RULA.

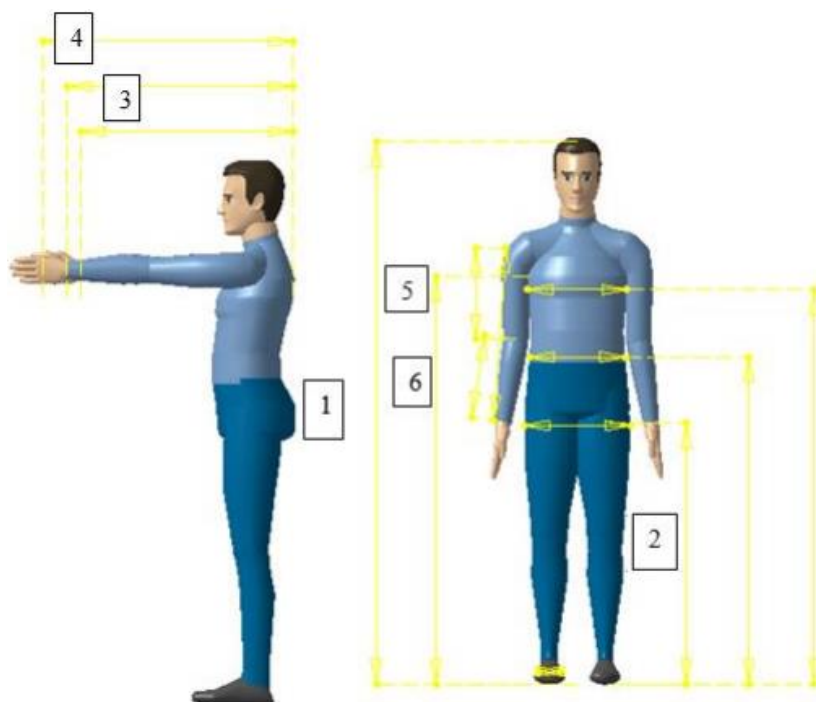


Figura 82 – Cotas antropométricas (CATIA) (Fonte: Autores, 2017).

4.2.1 Análise subjetiva dos voluntários/pilotos

A análise foi realizada depois dos ensaios realizados com os voluntários, as simulações contaram com uma amostra bem representativa do percentil 5% japonês ao percentil 99% americano, que pode ser observado pela Figura (83).

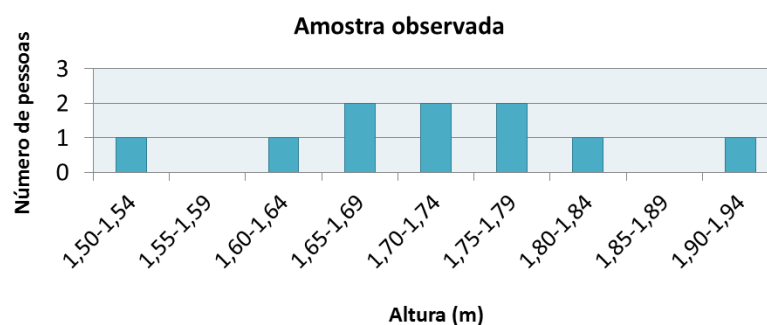


Figura 83 - Gráfico com a relação de número de pessoas por suas respectivas alturas (Fonte: Autores, 2017).

Cada participante deu 2 voltas no circuito que é o autódromo no Esporte Clube Piracicabano de Automobilismo (ECPA), localizado em Piracicaba-SP, que conta com um traçado de 2100 metros de sentido horário e elevado nível técnico, o circuito possui 9 curvas e 4 retas, tendo subidas e descidas, sendo contabilizada as vezes que cada um saiu da pista, seu tempo em cada volta e se capotou. Ver Tabela (8).

Tabela 8 - Tempo de cada volta (Fonte: Autores, 2017).

Q.pós-condução											
Duração simulação	Vol. 1	Vol. 2	Vol. 3	Vol. 4 piloto	Vol. 5	Vol. 6	Vol. 7	Vol. 8 piloto	Vol. 9	Vol. 10 piloto	MÉDIA
1ª VOLTA	02:38	02:40	03:05	03:12	03:01	03:18	05:10	03:12	05:01	03:00	03:25
2ª VOLTA	02:25	02:28	02:48	02:43	02:45	02:59	04:32	02:49	CAPOTOU	03:05	02:57

Os dados antropométricos de cada voluntário foram coletados e inseridos nos manequins no *software* Catia, como ilustrado na Tabela (9). Os pilotos que participaram dos ensaios são da equipe FGR, que iriam disputar o campeonato 5 dias depois dos ensaios. A escolha dos voluntários foi de forma aleatória, mas contendo percentis entre o 5% japonês até o 95% americano. Os parâmetros dos pilotos/voluntários estão ilustrados pela Tabela (10).

Tabela 9 - Dados antropométricos dos voluntários (Fonte: Autores, 2017).

Dados Antropométricos	Vol. 1	Vol. 2	Vol. 3	Vol. 4 piloto	Vol. 5	Vol. 6	Vol. 7	Vol. 8 piloto	Vol. 9	Vol. 10 piloto
Peso (kg)	73	75	130	70	72	70	58	70	49	76
Altura (m)	1,76	1,75	1,72	1,92	1,69	1,68	1,6	1,71	1,51	1,8
Alt. Quadril(m)	0,89	0,82	0,85	0,97	0,88	0,84	0,79	0,85	0,73	0,92
Costas ao pulso (m)	0,66	0,66	0,65	0,72	0,68	0,63	0,59	0,65	0,59	0,72
Costas a palma (m)	0,86	0,85	0,84	0,91	0,85	0,82	0,76	0,84	0,76	0,87
Comp. Braço (m)	0,31	0,28	0,3	0,29	0,29	0,27	0,26	0,3	0,24	0,29
Antebraço (m)	0,28	0,28	0,27	0,3	0,28	0,25	0,23	0,26	0,21	0,3

Tabela 10 - Pilotos/voluntários com sexo, altura, piloto ou voluntário, saiu da pista, capotou, percentis e tempo das voltas (Fonte: Autores, 2017).

	Vol. 1	Vol. 2	Vol. 3	Vol. 4 piloto	Vol. 5	Vol. 6	Vol. 7	Vol. 8 piloto	Vol. 9	Vol. 10 piloto
Data	23/11/2017	23/11/2017	24/11/2017	24/11/2017	24/11/2017	24/11/2017	24/11/2017	24/11/2017	24/11/2017	24/11/2017
Horário	14:40	15:00	09:40	10:15	10:31	10:50	10:55	11:00	11:56	12:00
Nome	ASC	SOVM	RAUT	RRM	GFA	DSO	MPA	LFMC	JMLH	MCD
Sexo	M	M	M	M	M	M	F	M	F	M
Idade	19	21	30	23	21	31	29	23	21	22
Peso	73	75	130	70	72	70	58	70	49	76
Mão	Destro	Destro	Destro	Destro	Destro	Destro	Canhoto	Destro	Destro	Destro
Instrução	Superior	Superior	Superior	Superior	Superior	Pós	Superior	Superior	Superior	Superior
Curso	E.Automotiva	E.Automotiva	E.Automotiva	E.Automotiva	E.Eletronica	E.Energia	E.Automotiva	E.Aesroespacia	E.Aesroespacia	E.Eletronica
Piloto	N	N	N	S	N	N	N	S	N	S
Percentil	55	50	34	99	20	19	40	29	5	78

O questionário ainda contava com uma série de perguntas quanto aos alcances e à altura do banco, volante e pedais. A Tabela (11) a seguir mostra os resultados.

Tabela 11- Respostas dos voluntários quanto aos alcances e alturas do banco, volante e pedais (Fonte: Autores, 2017).

Q.pós condução	Vol. 1	Vol. 2	Vol. 3	Vol. 4 piloto	Vol. 5	Vol. 6	Vol. 7	Vol. 8 piloto	Vol. 9	Vol. 10 piloto	MÉDIA
1) Alcance											
Banco	5	4	5	5	4	5	5	5	5	5	4,8
Volante	5	3	5	5	4	5	5	5	5	5	4,7
Pedais	4	5	5	5	4	5	5	5	4	5	4,7
2) Altura											
Banco	5	5	5	5	4	5	5	5	5	5	4,9
Volante	5	5	5	5	4	5	5	4	5	5	4,8
Pedais	5	5	5	4	4	5	5	3	5	4	4,5

Cada voluntário foi registrado utilizando a bancada, os pilotos além do registro, foram filmadas as suas ultimas voltas no circuito. A ilustração de 6 voluntários, seus manequins e suas respectivas análises RULA são mostradas nas Figuras (84) à (101) que validam a bancada.

A análise RULA do voluntário 3 tem como percentil 34 % e nota final 6, indicando melhorias a serem tomadas. As áreas de maior tensão que oferecem desconforto são torção do pulso e tronco. A distância da lombar com o encosto do assento não permite uma inclinação adequada ao voluntário, ocasionado desconforto no pescoço tronco e pernas. O modo como o voluntário posicionou o banco e a distância dos pedais provoca também desconforto moderado nas partes superiores dos braços e na sua rotação. Mesmo os resultados sendo desconfortáveis para o motorista, as respostas do voluntário 3 para os alcances e alturas dos pedais, volante e banco foram 5 (nota máxima), reafirmando sua resposta ao fim do questionário onde o voluntário poderia informar onde sentiu dor ou incomodo durante ou após a simulação, o voluntário foi negativo a todas as opções.



Figura 84 - Voluntário 3 - Percentil 34% (Fonte: Autores, 2017).



Figura 85 - Manequim do voluntário 3 - Percentil 34% (Fonte: Autores, 2017).

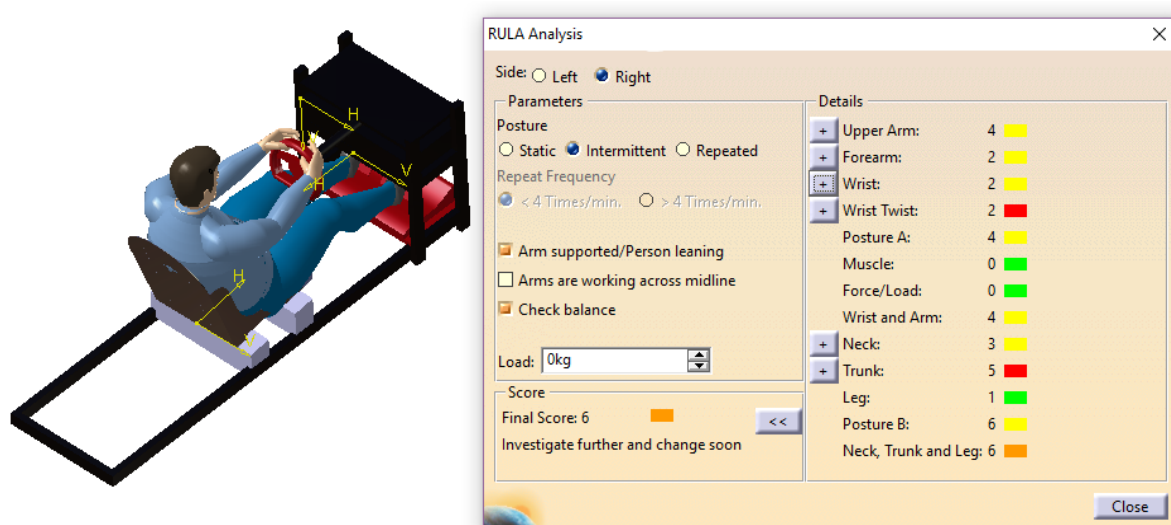


Figura 86 - Análise RULA do voluntário 3 - Percentil 34% (Fonte: Autores, 2017).

A análise RULA para o voluntário 4 com percentil 99% e nota final 7, indica que ajustes deveriam ser tomadas para um maior conforto. As áreas de maior tensão/desconforto são torção do pulso, antebraço, tronco pescoço e perna. O manequim do voluntário 4 é de percentil americano 99%, é importante ressaltar que o projeto visa a capacidade de dirigibilidade entre o percentil 5% japonês até o percentil 95% americano, é compreensível que o voluntário tenha recebido a pior nota na análise RULA devido o tamanho dos seus membros inferiores e superiores, possuindo somente um local de desconforto a mais do que os outros voluntários que é no antebraço. A mesma situação do voluntário 3 ocorreu com o voluntário 4, mesmo os resultados sendo desconfortáveis para o motorista, as respostas do voluntário 4 para os alcances e alturas do volante e banco foram 5 (nota máxima). A análise do questionário do voluntário mostra que a altura dos pedais foi o item de maior atenção na opinião dele, porém a nota de desconforto das pernas não confirma isso.



Figura 87 - Voluntário 4 - Percentil 99% (Fonte: Autores, 2017).



Figura 88 - Manequim do voluntário 4 - Percentil 99% (Fonte: Autores, 2017).

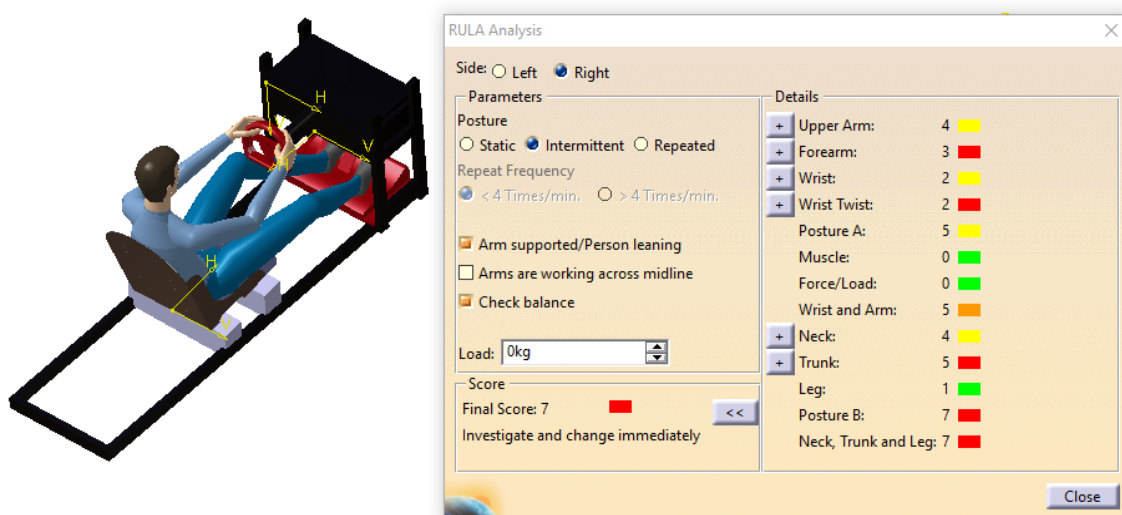


Figura 89 - Análise RULA do voluntário 4 - Percentil 99% (Fonte: Autores, 2017).

A análise RULA para o voluntário 10 com percentil 78% e nota final 6, indica melhorias a ser tomadas para um maior conforto. As áreas de maior

tensão/desconforto são torção do pulso, tronco, pescoço e perna além de valores intermediários no braço superior e sua torção. O manequim do voluntário 10 possui valores intermediários por causa dos ajustes do voluntário com relação à distância do banco e volante deixando os braços estendidos. O incomodo no pescoço é devido não aos ajustes do voluntário com relação a bancada, mas a sua postura errada, inclinando a cabeça para frente. O questionário do voluntário 10 para os alcances e alturas dos pedais, banco e volante foram 5 (nota máxima) com exceção para a altura dos pedais recebendo nota 4, além de responder negativamente se sentiu algum dor ou tensão aos níveis de desconforto ao final dos ensaios onde poderia indicar o local do desconforto e a intensidade.



Figura 90 - Voluntário 10 - Percentil 78% (Fonte: Autores, 2017).



Figura 91 - Manequim do voluntário 10 - Percentil 78% (Fonte: Autores, 2017).

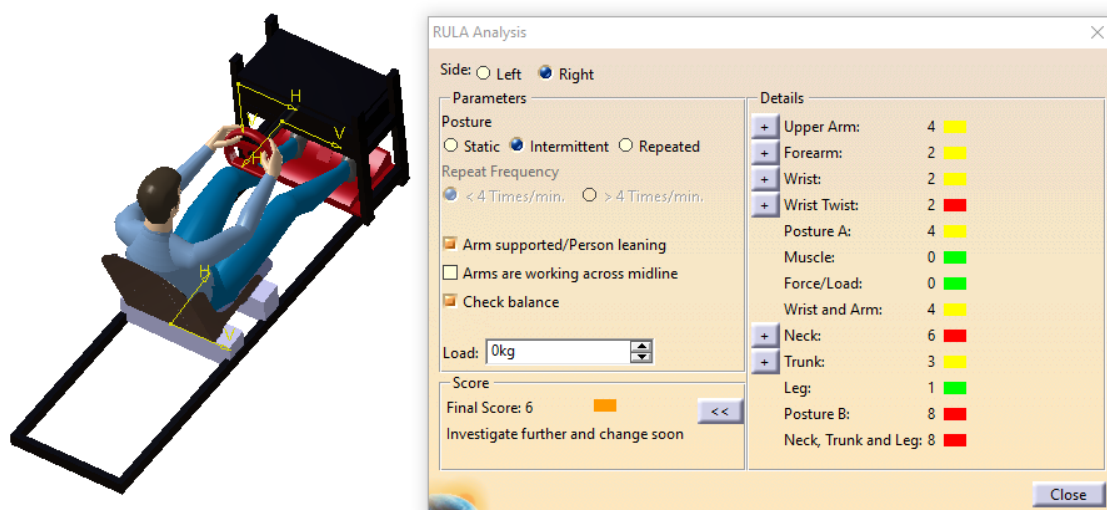


Figura 92 - Análise RULA do voluntário 10 - Percentil 78% (Fonte: Autores, 2017).

A análise RULA para a voluntária 7 com percentil 40% e nota final 6, indica melhorias a ser tomadas para um maior conforto. As áreas de maior tensão/desconforto são torção do pulso e tronco, valores intermediários para o pescoço e perna. Analisando as notas RULA da voluntária, nota-se uma melhor adaptação da voluntária à bancada, sendo necessárias pequenas alterações para um maior conforto. As notas do questionário para os alcances e alturas dos pedais, banco e volante foram 5 (nota máxima) segundo a voluntária, respondendo negativamente para os níveis de desconforto ao final do ensaio.



Figura 93 - Voluntário 7 - Percentil 40% (Fonte: Autores, 2017).

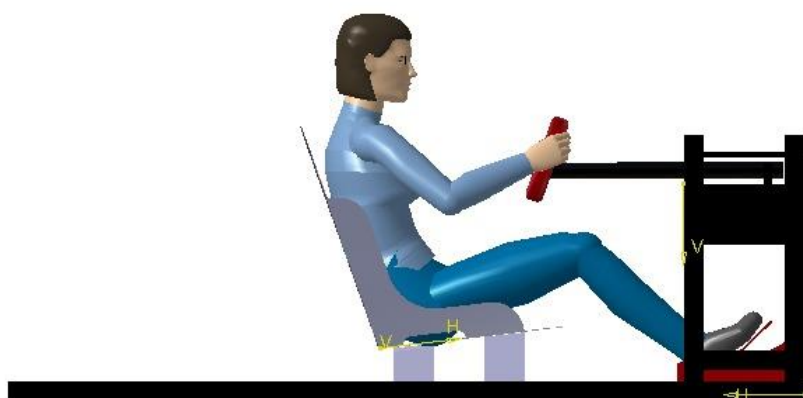


Figura 94 - Manequim da voluntária 7 - Percentil 40% (Fonte: Autores, 2017).

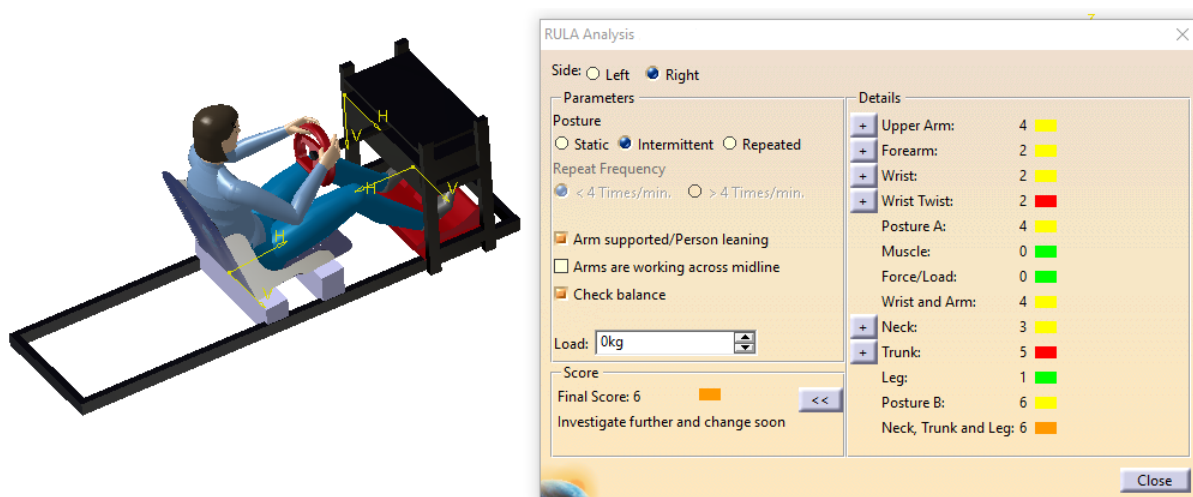


Figura 95 - Análise RULA da voluntária 7 - Percentil 40% (Fonte: Autores, 2017).

A análise RULA para a voluntária 9 com percentil 5% e nota final 6, indica melhorias a ser tomadas para um maior conforto. As áreas de maior tensão/desconforto são torção do pulso e tronco, valores intermediários para pescoço e perna. Analisando as notas RULA da voluntária, nota-se uma semelhança com a voluntária 7 possuindo também uma boa adaptação à bancada, sendo necessárias pequenas alterações para um maior conforto. As notas do questionário para os alcances e alturas dos pedais, banco e volante foram 5 (nota máxima) segundo a voluntária, com exceção ao alcance dos pedais o que é justificado pelo seu tamanho (o percentil de menor valor), respondendo também negativamente para os níveis de desconforto ao final do ensaio.



Figura 96- Voluntária 9 - Percentil 5% (Fonte: Autores, 2017).

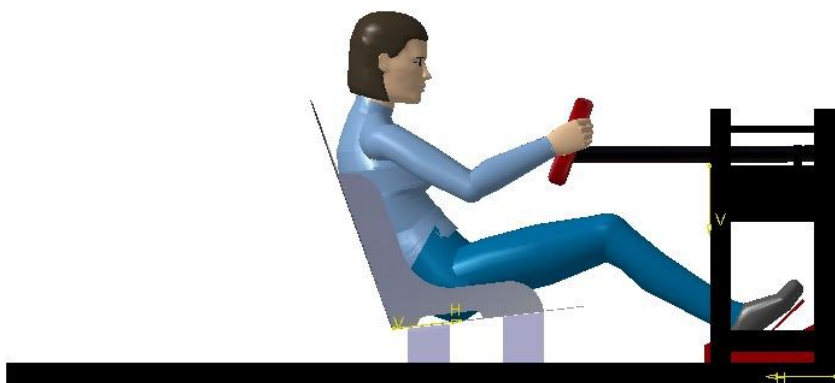


Figura 97 - Manequim da voluntária 9 - Percentil 5% (Fonte: Autores, 2017).

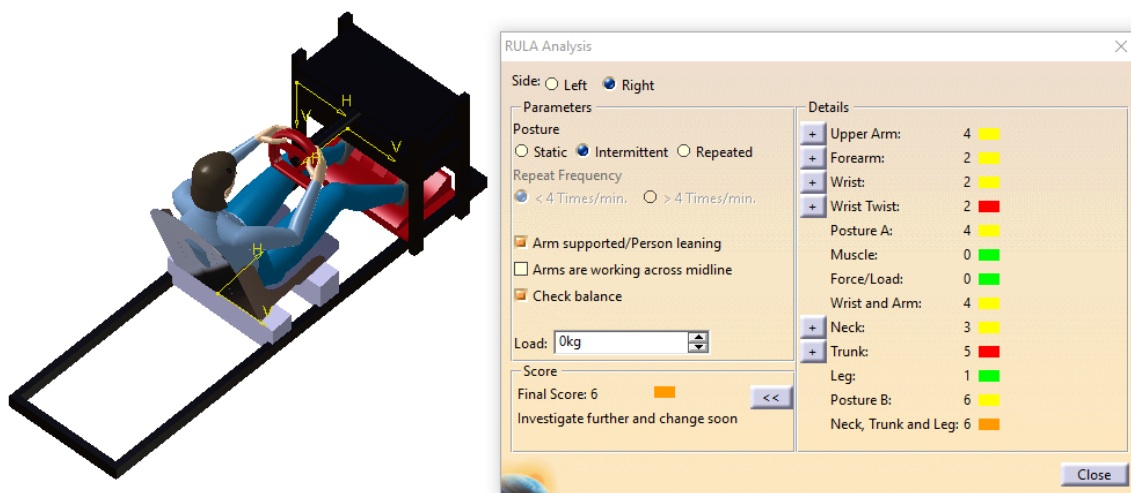


Figura 98- Análise RULA da voluntária 9 - Percentil (Fonte: Autores, 2017).

A análise RULA para o voluntário 5 com percentil 20% e nota final 6, indica melhorias a ser tomadas para um maior conforto. As áreas de maior tensão/desconforto são torção do pulso, tronco, pescoço e perna, a análise do questionário respondido pelo voluntário indica que sua experiência para este ensaio foi adequada, não se incomodando com a posição, o curto espaço de tempo ajudou.

As notas do questionário para os alcances e alturas dos pedais, banco e volante foram 4, segundo o voluntário, que é justificado pelo seu tamanho (um percentil de pouco valor 20%), respondendo também negativamente para os níveis de desconforto ao final do ensaio.



Figura 99 - Voluntário 5 – Percentil 20% (Fonte: Autores, 2017).

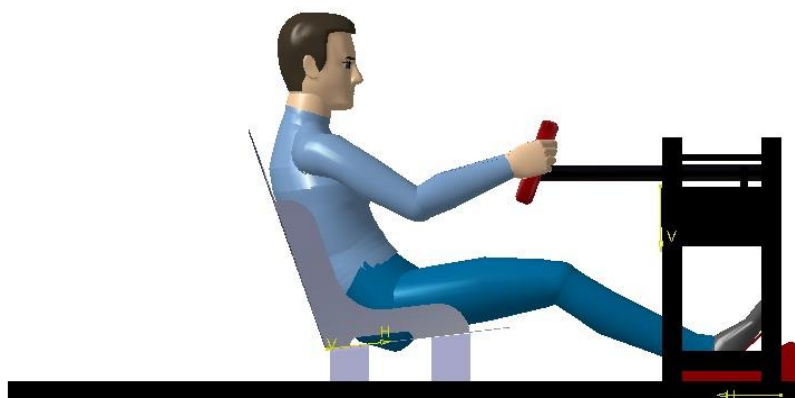


Figura 100 - Manequim do voluntário 5 - Percentil 20% (Fonte: Autores, 2017).

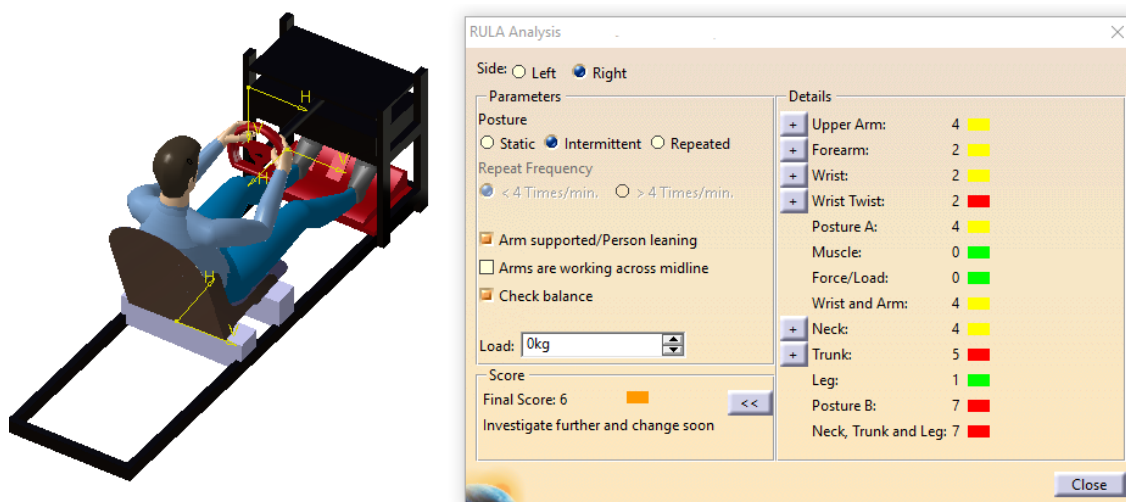


Figura 101 - Análise RULA voluntário 5 - Percentil 20% (Fonte: Autores, 2017).

4.3 ANÁLISES DAS SIMULAÇÕES X QUESTIONÁRIOS

A proposta inicial da bancada foi atendida, todos os voluntários conseguiram manusear com perfeição todos os comandos que a bancada possui, tanto no alcance quanto a altura das posições de volante, pedais e banco, obtendo ainda uma visão clara das projeções das simulações, do percentil 5% japonês até o percentil 95%, sendo observado ainda que a bancada permitiu ensaios com voluntários acima de 95% americano, que é o caso do voluntário 4 que possui percentil 99% americano. Os voluntários que possuíram mais conforto estão na faixa de 40% a 60%, seus percentis, devido as suas medidas antropométricas serem medianas. Todos os voluntários, sem exceção, não se queixaram de dor ou incomodo durante ou após as simulações, isto revela que os resultados obtidos nas análises RULA só seriam percebidos à longo prazo, com mais tempo na direção do simulador. Nenhum dos voluntários possui dificuldades em exercer as funções de jogabilidade, apenas a voluntária 9 sentiu desconforto em alcançar os pedais, mas não a impediu de realizar todos os comandos que foram necessitados durante os ensaios. Uma análise mais geral em relação aos resultados RULA, é que todos os motoristas irão sentir desconforto ou dores no pulso, nota de média 2 (na torção do pulso) e tronco nota de média 6 (uma nota intermediária), se dirigir o formula SAE por muito tempo.

4.4 MODIFICAÇÕES

As modificações são mínimas considerando que a simulações se tratam de um carro formula SAE regido por regras específicas, podendo ser alterado somente os pedais em um eixo no sentido paralelo ao chassi do carro, ou seja, a distância do alcance dos pés dos pilotos aos pedais, não sendo permitido regulagens como, por exemplo, na altura.

Modificações seriam necessárias no diâmetro do volante, na regulagem de altura e distância, essas regulagens irão permitir mais conforto para todos os pilotos, através das análises dos resultados RULA dos manequins dos voluntários, que receberam notas intermediárias ou altas nos quesitos de torção de pulso e nos braços.

A posição do banco é fixa e seu ângulo também (103° graus), modificações nesses dois parâmetros também são de extrema importância, pois em todos os ensaiados os manequins receberam notas altas ou intermediárias no quesito desconforto no tronco.

5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O ser humano está condicionado a atividades diárias, repetitivas e cíclicas. Ocasionalmente um mal silencioso que é o estresse e que provoca várias consequências sistemáticas e excitações emocionais que ao longo do tempo ocasiona até mesmo a depressão. Um dos fatores que contribuem é o desconforto nos locais de estudo, trabalho e locomoção dos indivíduos inseridos nestes ambientes a longos períodos.

Em um ambiente de pilotagem e competitivo, além do fator segurança, o conforto é essencial para um desempenho primordial e saudável. Neste estudo ergonômico na equipe formula SAE, recriou-se o veículo da equipe em uma bancada experimental e a sua simulação virtual, na plataforma *Unity*, possuindo as mesmas dimensões do veículo e características físicas, sendo analisado o conforto dos pilotos da própria equipe e voluntários no ambiente *RULA*.

Este trabalho teve como intuito o desenvolvimento e validação de uma bancada para simulação veicular integrando realidade virtual e validação ergonômica, para avaliar o interior de um veículo do tipo Fórmula – SAE, integrando com as simulações da plataforma do *Unity 3D*®. O objetivo da bancada é avaliar o *Package* e a usabilidade do veículo através de uma validação ergonômica com o auxílio de voluntários, inclusive dos pilotos da equipe, que irão responder a um questionário de validação analítico-subjetivo antes e depois da simulação. Todos os objetivos foram atendidos através das análises *RULA* e as análises dos questionários subjetivos.

Durante o desenvolvimento desse trabalho, obteve-se: uma maior compreensão nos fundamentos e normas de avaliações veiculares, através da utilização de simulação e *cockpit* com o desenvolvimento e a definição dos objetivos esperados pela indústria automotiva e a sua importância em todas as etapas, seja de concepção até a finalização do projeto, adquirindo assim capacidade para atuar em qualquer etapa na área de estudos ergonômicos veiculares, além de aumentar também o conhecimento e domínio de novos *softwares* de simulação, como *Unity 3D*®, desenvolvendo uma maior capacitação profissional.

Os resultados de conforto pelas análises *RULA*, mostrou que o carro é desconfortável para todos os Percentis, do extremo 5% japonês ao extremo 99% americano, durante os ensaios nenhum participante das simulações sentiu dor ou

qualquer desconforto, ou seja, os resultados *RULA* somente serão sentidos (desconforto) pelos pilotos após longos períodos de pilotagem. As melhores notas recebidas nas análises *RULA* e que melhor se adaptaram as condições do veículo, são os Percentis abaixo do 99%, que seriam os melhores pilotos para a competição, pois todos os manequins sentiram desconforto em pelo menos dois parâmetros desta análise, sendo a nota da torção de punho vermelha para todos os 6 manequins. As notas dos parâmetros no geral foram melhores para os voluntários de Percentil 34%, 40% e 5%. Cabe ressaltar que o percentil 99% foi o único a receber a nota mais alta desta análise, igual a 7, enquanto os outros 5 manequins voluntários receberam nota igual a 6.

É esperado que carros de competição sejam desconfortáveis, não interferindo na validação tanto da bancada quanto do Formula SAE, que foram concluídas pelo fato que todos os voluntários conseguiram utilizar todos os comandos nas simulações. Como as modificações no carro são limitadas pelas regras e condições da competição, sugestões de melhoria são poucas, além da equipe ainda não ter concluído o veículo para a competição o que ajudaria na comparação entre as simulações e a realidade, o que não ocorreu a tempo, sendo este um trabalho inicial, tendo como objetivo trabalhos futuros mais abrangentes possuindo mais parâmetros como temperatura e vibrações.

Por esta razão o trabalho realizado é de extrema importância pela sua alta gama de expansão de estudos em outras áreas, além da relevância de análises em ambientes fechados e controlados em laboratórios ou mock-ups, que simulam situações reais. Principalmente na fase de modelagem do produto, que evitam as situações de reprojeto, ajudando os condutores em seus treinamentos e reconhecimento dos locais de prova, devido à proximidade da realidade que as simulações oferecem.

As intenções para a evolução desse trabalho são: Colaborar com estudos e pesquisas futuras na área de Ergonomia, fornecendo dados que podem ser adaptados, para análises de diferentes veículos posteriores. Outro propósito é de que os resultados obtidos poderão incentivar e colaborar com as equipes da Universidade de Brasília como a *FG Racing* e *BAJA*.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. 2011. *NBR 6023: Informação e Documentação - Referências*. Rio de Janeiro : TÉCNICAS, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS, 2000.

ABRAS, C., MALONEY-KRICHMAR, D. PREECE, J. User-Centered Design. In Bainbridge, W. *Encyclopedia of Human-Computer Interaction*. Thousand Oaks: Sage Publications, 2004.

AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE. Disponível em <https://www.standardsportal.org/usa_en/sdo/sae.aspx> Acesso em 08/05/2017

BACKLUND, PER; ENGSTRÖM, H.; JOHANNESSEN, M.; LEBRAM, M. Games for traffic education: An experimental study of a game-based driving simulator. *Simulation & Gaming*, May, 19, 2008

BAYARRI, S., FERNÁNDEZ, M; SANMARTIN, J. Scenario modelling tools for driving simulation experiments. In: *International Conference on Traffic and Transport Psychology*. Anais. Valencia, España. Maio, p. 22-25, 1996.

CASOLO, F., CINQUEMANI, S., COCETTA, M., Functional Mechanical Design of a Low Cost Driving, *Proceeding: 5th International Symposium on Mechatronics and its Applications (ISMA08)*, Amman, Jordânia, Maio, 2008;

DIFFRIENT, N., TILLEY, A.R. e BARDAGJY, Y. *Human scale*. Cambridge: Henry Dreyfuss Associates, The MIT Press, 1974, 32p.

DIN, 1981, DIN 33402: Body dimensions of people, June 1981, (Deutsches Institut für Normung (DIN) e V, Berlin) (Quoted in Norris and Wilson 1995)

DREWS, F.A.,PASUPATHI, M. & STRAYER, D.L.. Passenger and Cell Phone Conversations During Simulated Driving. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 14, 392–400, 2008.

Forsberg, A. et alii. Seamless interaction in Virtual Reality. IEEE Computer Graphics and Applications. nov/dec 1997, pp. 6-9

HAKAMIES-BLOMQVIST, L. Research on older drivers: a review. IATSS Research, 20, 91- 100, 1996.

HANCOCK, D. Viewpoint: virtual reality in search of middle ground, *IEEE Spectrum*, 32(1):68, Jan, 1995.

Herriotts, P. & Johnson, P. Are you sitting comfortably? A guide to occupant packaging in automotive design. In N. Gikkas (ed). Automotive Ergonomics: Driver-Vehicle Interaction, 2013. (p. 17-39).

HOFFMANN, M.H. & GONZÁLEZ, L. Acidentes de trânsito e fator humano. Em: Hoffmann, M.H (org), Comportamento humano no trânsito (pp. 377-391). São Paulo: Casa do Psicólogo. 2003

IIDA, I. Ergonomia: Projeto e Produção. 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2005.

JACOBSON, L.: *Virtual reality: A status report*, AI Expert, pp. 26-33, Aug, 1991.

J.D. Power cars ratings & research, Disponível em <<http://www.jdpower.com/cars/awards/Automotive-Performance-Execution-and-Layout-%2528APEAL%2529-Study-by-Segment/1312ENG>> 2016 Performance and Design Ratings & Awards, J.D. Power 2016 Performance and Design Ratings & Awards. Acesso em 21/05/2017.

JORNAL A CIDADE. Disponível em <<http://www.acidadevotuporanga.com.br/local/2014/10/simulador-de-direcao-agora-e-opcional-para-todas-as-autoescolas-da-cidade-n22344>> Acesso em 03/05/2017

JOU, G.I. *Atenção seletiva: Um estudo sobre cegueira por desatenção*, 2006.

KHISTY, C.J. & LALL, K. *Transportation Engineering: An Introduction*. (3a Ed.). New Jersey, 2003

MARÍN, L. & QUEIROZ, M. S. A atualidade dos acidentes de trânsito na era da velocidade: uma visão geral. *Caderno de Saúde Pública*, 16 (1), 7-21, 2000.

MEDEIROS, Cindy. R. P. X. Avaliação do Cockpit de Veículos Automotores do Transporte de Carga: Método Apoiado na Ergonomia e na Usabilidade. 2004. 257 f. Monografia (Pós Graduação) – Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004

MIRANDA, M.R. Desenvolvimento de Bancada para Simulação Veicular Integrando Realidade Virtual e Medição de Dados Fisiológicos. Tese de Doutorado em Ciências Mecânicas, 2014

ONADEMIREL. Disponível em <<http://www.onandemirel.com/project/formula-1-race-car-development-steps/>> Acesso em 03/04/17

ONUKEI, M. et al, A Photo-Realistic Driving Simulation System for Mixed-Reality Traffic Experiment Space, artigo publicado no IEEE, 2005;

PASCHOARELLI, L.C. e FELISBERTO, L.C. Padrões Antropométricos para dimensionamento ergonômico preliminar de postos de trabalho. Bauru, In: V Congresso de Iniciação Científica da UNESP, Caderno de Resumos p. 314, 2000.

PEREIRA, C. J. O. ALCOIBA, J. Ergonomia Ambiental em veículos. Tese de doutorado em Ciências de Engenharia Mecânica (Aerodinâmica), 2006.

RIBEIRO, L.O. M., MARIA ISABEL E ZARO MILTON ANTONIO. Modificações em jogos digitais e seu uso potencial como tecnologia educacional para o ensino de engenharia. RENOTE - Revista Novas Tecnologias na Educação, CINTED-UFRGS. V. 4 Nº 1, Julho, 2006.

ROZESTRATEN, R.J. Psicologia do Trânsito, conceitos e processos básicos. São Paulo: EPU/EDUSP 1998

SAE Surface Vehicle Recommended Practice - J1100. Motor Vehicle Dimension, 1995;

SAE Surface Vehicle Recommended Practice - J941. Motor Vehicle Drivers's Eye Locations, 1992;

SAE Surface Vehicle Recommended Practice - J1050. Describing and Measuring the Driver's Field of View, 1994;

SILVA, M.B. Avaliação Ergonômica de um Kart - Monografia submetida ao curso de graduação em Engenharia Automotiva, 2017;

STERNBERG, R.J. *Psicologia Cognitiva*. Porto Alegre: Artes médicas, 2000.

TANABE, Alexandre. Y. Ergonomia no Processo de Desenvolvimento do Automóvel. 2014. 103 f. Monografia (Graduação) – Engenharia de Produção, Escola Politécnica de São Paulo, São Paulo, 2014.

TILLEY, A., Henry Dreyfuss Associates, As Medidas do Homem e da Mulher: Fatores Humanos em Design, Bookman, 2005, ISBN: 9788577801022

TORY, M. MOLLER, T., Human Factors in visualization researcher: IEEE Transactions on visualization and computer graphics, Vol. 10, no1, January/February 2004.

WISNER, A .Por dentro do trabalho: textos selecionados de ergonomia. São Paulo: Fundacentro, 191 p.1981.

YAN W., WEIJIAN X.; Design of Virtual Vision for a Driving Simulator, Proceeding of the 2003 IEEE – International Conference on Robotics, Intelligent Systems and Signal Processing, Changsha, China, 2003;

Apêndice A - Instrumento de pesquisa - QUESTIONÁRIO SUBJETIVO**SIMULAÇÃO VEICULAR DE UM FÓRMULA NA PISTA DE COMPETIÇÃO EM PIRACICABA****Termo de compromisso:**

Eu _____
estou ciente que os dados coletados e gerados nesta simulação realizado no dia _____de_____de_____, são apenas para fins acadêmicos e verídicos. Me responsabilizo por qualquer acidente ou injúria contra a minha pessoa, não sendo atribuídos valores monetários em nenhum momento da pesquisa.

Pesquisadores: _____
Assinatura

Assinatura

Voluntário: _____
Assinatura

Favor preencher os campos abaixo como complemento do questionário para a avaliação subjetiva deste experimento.

Horário de início do ensaio:____:____

Dados Individuais

Nome:_____

Sexo: ☐ Masculino ☐ Feminino

Idade:_____

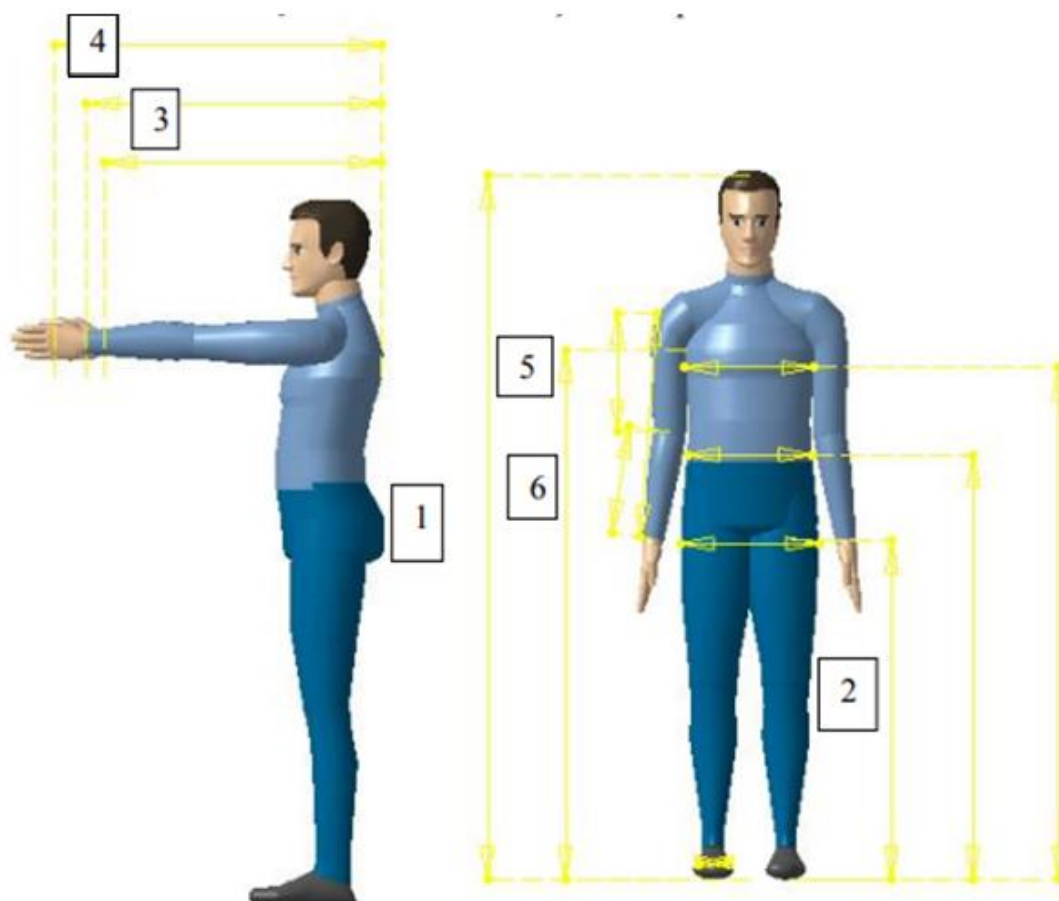
Você é: ☐ Destro ☐ Canhoto

Grau de Instrução: ☐ Ensino Médio ☐ Ensino Superior ☐ Pós-graduação

Se graduado/graduando, qual o curso: _____

Você é piloto da equipe *FG Racing*: ☐ Sim ☐ Não

Dados Antropométricos



	Resposta
Peso (kg)	
1. Altura (m)	
2. Altura quadril (chão até a pelve)	
3. Comprimento dos membros superiores?(costas ao pulso).	
4. Comprimento dos membros superiores? (costas a palma).	
5. Comprimento braço	
6. Comprimento antebraço	

Questionário Pré-Condução

- 1) Você já dirigiu um carro elétrico?

- 2) Como se sente hoje?

☐ Cansado ou ☐ Disposto
☐ Com sono ou ☐ Sem sono

- 3) Você ingeriu bebida alcoólica durante as últimas 24 horas?

☐ Sim ☐ Não

- 4) Quantas horas você dormiu na última noite, aproximadamente?

☐ Até 4 horas ☐ 5 horas ☐ 6 horas ☐ 7 horas ☐ 8 horas ☐ Mais de 8 horas

- 5) Com qual frequência você dirige em:

Nunca/ Quase nunca/ Às vezes/ Quase sempre/ Sempre					
Trecho urbano:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Rodovia:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Calçamento:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Estrada de terra:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

- 6) Quanto tempo, em média, você dirige por dia, aproximadamente?

_____(minutos) .

- 7) Em quantos dias por semana você dirige? _____(dias)

- 8) Por quanto tempo você está dirigindo?

☐ Menos de 1 ano ☐ Entre 1-5 anos ☐ Entre 5-15 anos ☐ Mais de 15 anos

- 9) Qual hora do dia que você costuma dirigir? (Marcar todos os aplicáveis)

☐ Amanhecer ☐ Durante o dia ☐ Anoitecer ☐ Noite

- 10) Qual o tipo de veículo que você dirige na maioria das vezes (marque um)?

☐ Motocicleta
☐ Carro de Passeio ☐ Motor
☐ SUV
☐ Van ou Minivan
☐ Pick-Up

Outros: _____

11) Como você descreveria a si mesmo em termos de experiência de condução?

- ☐ Muito inexperiente
- ☐ Inexperiente
- ☐ Nem inexperiente, nem experiente.
- ☐ Experiente
- ☐ Muito experiente

12) Você tem alguma experiência com simuladores de veículos?

- ☐ Sim ☐ Não

13) Por favor, se for positiva a resposta, qual a estimativa de tempo de condução em simulador: _____ horas

14) Quais tipos de simulador você já usou? (marcar todos os aplicáveis)

- ☐ Baixo nível (ex: vídeo game com controle de mão/joystick)
- ☐ Estático/semi dinâmico (ex: vídeo game com volante / pedal/ cambio)
- ☐ Dinâmico (ex: simuladores com movimento de assento e volante / pedal / cambio)
- ☐ Realidade Virtual (ex simuladores 3D, 4D, com movimentação)

15) Alguma vez você experimentou desconforto/enjoo devido a movimentos realizados (trepidação, giro, etc) ou enquanto usando simuladores?

- ☐ Sim ☐ Não

16) Em caso positivo, quando foi a última vez que você experimentou tal desconforto devido a movimentos?

- ☐ Recentemente
- ☐ Nos últimos 5 anos
- ☐ Mais de 5 anos

Questionário Pós-Condução

Avaliação ergonômica da bancada

Duração da simulação (min:seg): _____

- 1) Dê uma nota de 1 a 5 para classificar a posição dos seguintes componentes:
Banco, volante e os pedais

- 0- Muito ruim
1- Ruim
2- Aceitável
3- Bom
4- Muito Bom
5- Excelente

Alcance	0	1	2	3	4	5
Banco						
Volante						
Pedais						

- 2) Dê uma nota de 1 a 5 para classificar a posição dos seguintes componentes:
Banco, volante e os pedais

- 0- Muito ruim
1- Ruim
2- Aceitável
3- Bom
4- Muito Bom
5- Excelente

Altura	0	1	2	3	4	5
Banco						
Volante						
Pedais						

- 3) As posições do assento volante e pedais foram ajustadas para as suas medidas?

☐ Sim ☐ Não

- 4) O condutor saiu da pista?

☐ Sim ☐ Não

- 5) Quantas vezes?

- 6) A simulação gerou algum desconforto ou dor? Se sim, diga a região, marcando no local e indique na escala ao lado o nível de desconforto de 1(leve desconforto), 5 (desconforto mediano) e 10 (extremo desconforto)

VISTA DE COSTAS

LADO ESQUERDO

LADO DIREITO

Nível de desconforto

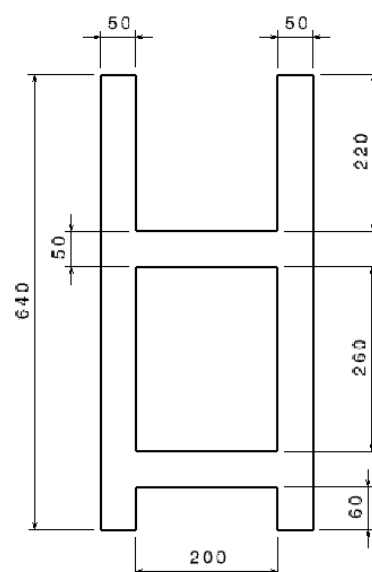
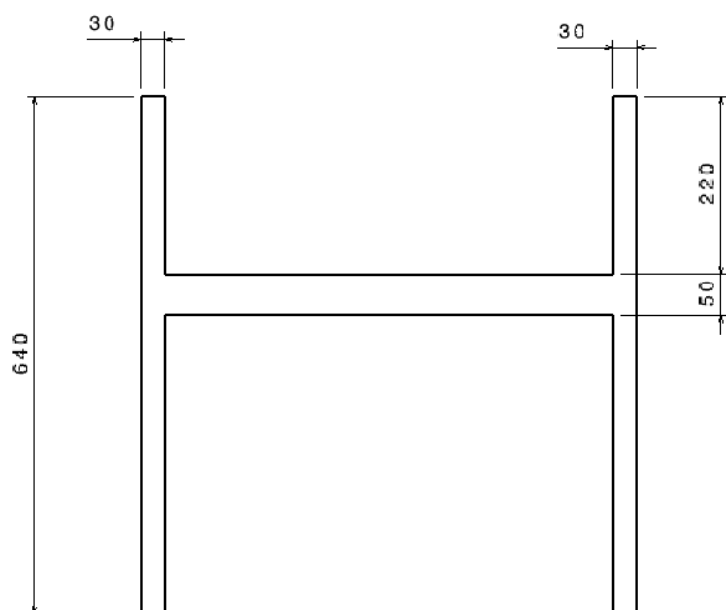
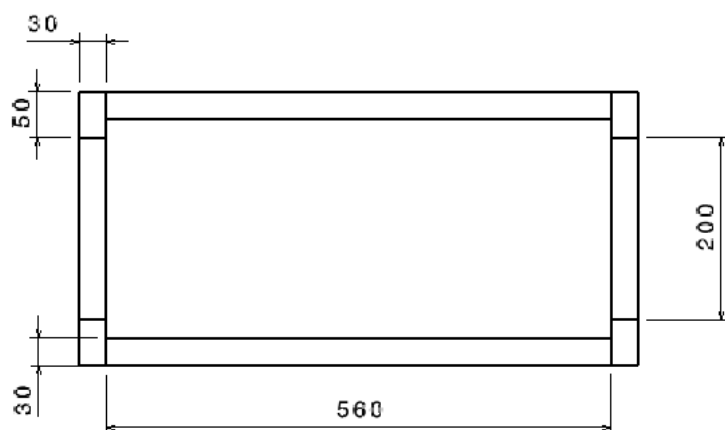
1 _____ 5 _____

1	Pescoço	1 _____ 5 _____	
11	6	Ombros	1 _____ 5 _____
2	Costas-superior	1 _____ 5 _____	
12	7	Braços	1 _____ 5 _____
3	Costas-médio	1 _____ 5 _____	
13	8	Antebraços	1 _____ 5 _____
4	Costas-inferior	1 _____ 5 _____	
14	9	Punhos	1 _____ 5 _____
15	10	Bacia	1 _____ 5 _____
5	Mãos	1 _____ 5 _____	
19	16	Coxas	1 _____ 5 _____
20	17	Pernas	1 _____ 5 _____
21	18	Tornozelo e pés	1 _____ 5 _____

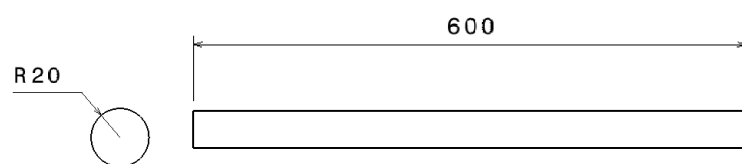
[illegible]

Cotas da Bancada separadamente

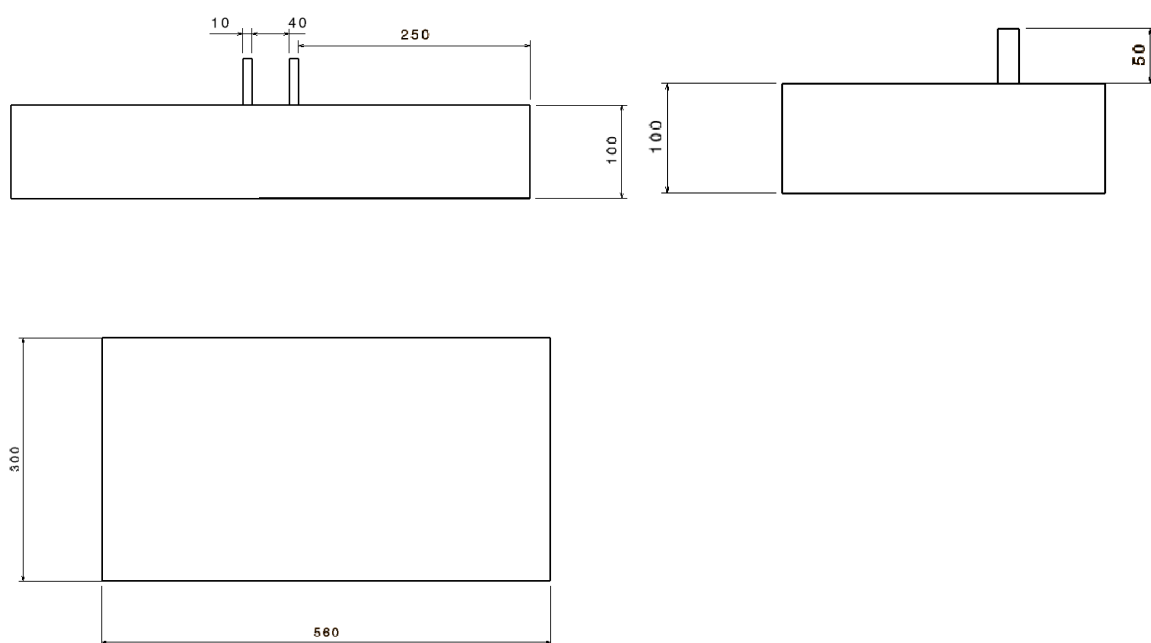
Parte estrutural para o volante e suportes da TV.



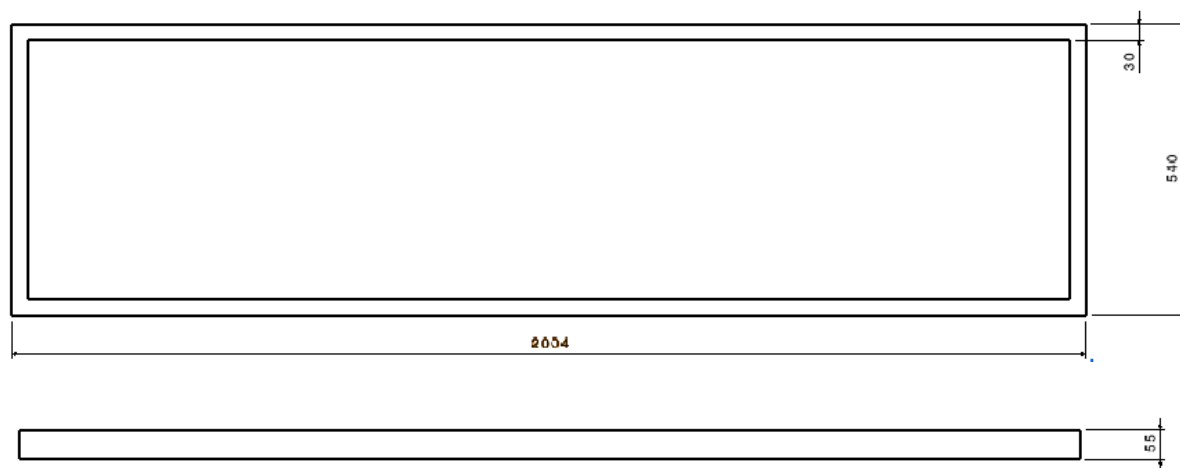
Braço do volante



Suporte para o braço do volante



Base da bancada para banco e pedais



Suporte para a TV

